

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

TESTOVACÍ POLYGON FOTONICKÝCH SLUŽEB

PHOTONIC SERVICES TESTBED

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matěj Kubica

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Horváth, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Student: Matěj Kubica

ID: 195373

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Testovací polygon fotonických služeb

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem bakalářské práce je popis realizace optických spojů uvnitř budov. Realizujte propojení vybraných laboratoří s detailní dokumentací. Uvedte do provozu základní fotonické služby pro přenos dat v rámci realizovaných spojů mezi laboratořemi. Výsledkem bude funkční polygon obsahující datový provoz z pasivní optické sítě z rozvodného uzlu Ústavu telekomunikací (UTKO). Nakonfigurujte optický switch pro laboratoř SD5.65 z rozvodného uzlu UTKO s přístupem do sítě Internet.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FILKA, Miloslav a kol. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Druhé, rozšířené vydání. Brno: Prof. Ing. Miloslav Filka, Csc. a kol., 2017. ISBN 978-80-86785-29-5.

[2] SIMMONS, Jane M. Optical network design and planning. New York: Springer, [2014]. ISBN 978-3319052267.

Termín zadání: 1.2.2019

Termín odevzdání: 27.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Horváth, Ph.D.

Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává v teoretickém rozboru o problematice optické kabeláže a jejího svařování a rozvodu. V práci jsou rozebrány základní rozdíly mezi různými druhy optických vláken. Důraz je poté kladen na vlákna jednovidová a jejich standardizaci. V návaznosti se práce věnuje různým technikám spojování optických vláken a rozvodu kabeláže uvnitř budov. V praktické části je popsána realizace jednotlivých propojů s naměřenými hodnotami útlumů jednotlivých svárů. Následně je popsáno zapojení jednotlivých vláken do portů optických van. Zapojení je poté kompletně zdokumentováno a na vybraných vláknech jsou poté realizovány dané služby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optické vlákno, standardy, konektory, svařování, rozvod optické kabeláže

ABSTRACT

Bachelor thesis focuses on the theoretical analysis of optical cables and it's fusion splicing and distribution. This thesis deals with basic difference between different types of optical fibers. Importance is put on singlemode fibers and it's standardization. Following by analysis of different techniques of uniting optical fibers and distribution of cables inside buildings. In the practical part the realization of individual joints with measured values is described. Next part describes connection of individual fibers into optical bath. This connection is completely documented and certain services are realized on selected fibers.

KEYWORDS

Optical fiber, standards, connectors, fusion splicing, distribution of optical cables

KUBICA, Matěj. *Testovací polygon fotonických služeb*. Brno, 2019, 69 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Horváth, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Testovací polygon fotonických služeb“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Horváthovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....
podpis autora

Obsah

Úvod	12
1 Optická kabeláž	13
1.1 Jednovidová vlákna	13
1.2 Mnohovidová vlákna	14
1.3 Gradientní vlákna	14
1.4 Optická kabeláž pro vnitřní užití	15
1.5 Optická vlákna pro venkovní užití	16
2 Parametry optického vlákna	17
2.1 Numerická apertura (NA)	17
2.2 Šířka pásma	17
2.3 Měrný útlum	18
2.4 Disperze vln	18
2.4.1 Chromatická disperze	19
2.4.2 Polarizační disperze	19
2.4.3 Vidová disperze	19
3 Standardy jednovidových vláken	21
3.1 Standard G.652 a jeho modifikace	21
3.2 Standard G.653	21
3.3 Standard G.654	22
3.4 Standard G.655	22
3.5 Standard G.656	22
3.6 Standard G.657	22
4 Spojování optických vláken	24
4.1 Úvod do problematiky spojování	24
4.2 Permanentní spojení	25
4.2.1 Tavné svařování	25
4.2.2 Slepované spoje a mechanické spoje	26
4.3 Semipermanentní spojení	27
5 Typy optických konektorů	28
5.1 Konektor typu FC	28
5.2 Konektor typu LC	29
5.3 Konektor typu SC	29
5.4 Konektor typu ST	30

6	Optická síť	31
6.1	Obecná hierarchie optických sítí	31
6.2	Optická přístupová síť	32
6.3	LON/OLAN	33
6.4	Rozvod optické kabeláže uvnitř budov	33
6.5	Nové možnosti instalace kabeláže uvnitř budov	34
7	Realizace optických propojů	36
7.1	Svařování vláken v jednotlivých místnostech	36
7.2	Dokumentace	37
7.3	Výsledky měření přímou metodou	40
8	Fotonické služby	45
9	Závěr	48
	Literatura	49
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	52
	Seznam příloh	54
A	Přehled naměřených hodnot útlumů jednotlivých svárů	55
B	Přehled naměřených hodnot útlumů jednotlivých propojů	59
C	Schémata zapojení jednotlivých portů	61
D	Výpisy konzole Coriant Groove G30	68

Seznam obrázků

1.1	Růst optické konektivity napříč vybranými státy pro rok 2016–2017 [2]	13
1.2	Módy optických vláken	15
1.3	Struktura kabelu tight buffer	15
1.4	Struktura kabelu loose tube	16
2.1	Příklad mikroohybu vlákna	18
2.2	Příklad makroohybu vlákna	19
4.1	Příklad chyb u spojování vláken	25
4.2	Ideální zalomení vlákna s jednotnou osou	25
4.3	Postup při tavném svařování	26
5.1	Přehled konektorů	29
7.1	Vlákna s obnovenou ochranou sváru	39
7.2	Vymotaná vlákna do kazety ve starším typu vany	39
7.3	Vymotaná vlákna do kazety v novějším typu vany	40
7.4	Přehled portů SD5.67(SD5.62)	44
8.1	Schéma realizace propojů a přístupu do internetu	46
C.1	Přehled portů SD5.62	61
C.2	Přehled portů SD5.67 rack 3	62
C.3	Přehled portů SC5.52	63
C.4	Přehled portů SC5.35	64
C.5	Přehled portů SE5.116	65
C.6	Přehled portů SD5.67	66
C.7	Jednoduchý půdorys s vyobrazenými propoji	67

Seznam tabulek

3.1	Porovnání vybraných standardů	23
7.1	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SE5.116 směr SD5.67	37
7.2	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SE5.116	38
7.3	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SD5.62	38
7.4	Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SC5.35	41
7.5	Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SE5.116	42
7.6	Útlumy jednotlivých vláken v propoji SC5.52–SC5.35	43
A.1	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SC5.52 směr SD5.67	55
A.2	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SC5.52 směr SC5.35	56
A.3	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.62 směr SD5.67	56
A.4	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SC5.52	57
A.5	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SC5.35	58
A.6	Útlumy svárů ve vaně v místnosti SC5.35	58
B.1	Útlumy jednotlivých vláken v propoji SC5.52–SD5.67	59
B.2	Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SD5.62	60
B.3	Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SD5.62	60

Seznam výpisů

D.1	Výpis po úspěšném přihlášení do Coriant Groove G30	68
D.2	Výpis informací o portech	68
D.3	Výpis informací o nastavených parametrech	69
D.4	Výpis informací o chybovosti přenosu	69

Úvod

V současné době nastal velký rozmach pokládání a montáže optických kabelů. Tato popularita optické kabeláže je způsobena momentálními technologickými možnostmi, kdy je možné využít optická vlákna pro široké spektrum různých služeb. S tímto pokrokem dochází k postupnému nahrazování metalické kabeláže, která přestává být využívána i pro služby typické pro ni jako například kabelová televize.

Tato bakalářská práce se tedy zabývá optickou kabeláží pro patřičná užití obecně. Dále popisuje jednotlivé standardy optických vláken a jejich aplikace v terénu. Důležitou roli u optické kabeláže hraje svařování vláken a to z mnoha důvodů, jednak je to základní úkon při rozvádění optických vláken, ale kdykoli může také nastat potřeba již existující trasu prodloužit k dalším uzlům nebo účastníkům či různými vlivy může dojít k přerušení vlákna. Svařování optických vláken je také rozebráno v teoretické části bakalářské práce. Kapitola věnována této tématice objasňuje jednotlivé úkony při sváření a upozorňuje na problematiku, která může nastat.

Se svařováním optických vláken úzce souvisí konektorování optických vláken. Nejpoužívanějším konektorům a nejčastějším typům broušení je věnována samostatná kapitola, která ihned navazuje na svařování. Konektory jsou popsány z hlediska praktického využití.

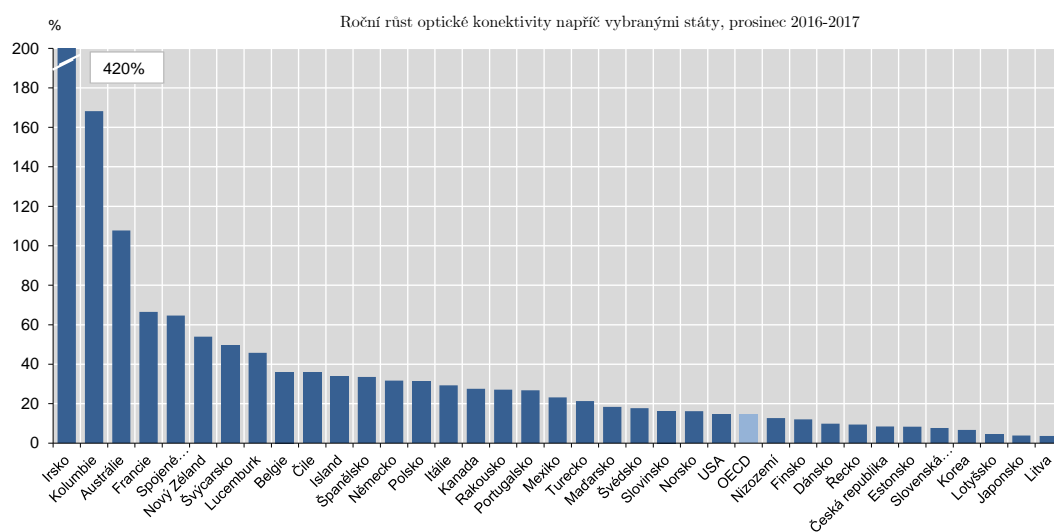
Další kapitola je poté věnována rozvodům optické kabeláže uvnitř budov, jelikož naplní bakalářské práce je realizovat propoje optickou kabeláží. Kabelážní systém optických rozvodů se také s postupem času zdokonaluje a je uživatelsky přívětivější, nové techniky a principy rozvodu jsou naznačeny a popsány v posledních kapitolách teoretické části.

Jak již bylo zmíněno cílem bakalářské práce je realizovat propoje mezi zvolenými místnostmi na ústavu telekomunikací, což bude vyžadovat pečlivou práci při svařování optických vláken, aby se dosáhlo pokud možno nejkvalitnějších svárů a tudíž i co možná nejmenšího útlumu. A následně na zvolených vláknech zprovoznit určitý druh služeb.

1 Optická kabeláž

Optická kabeláž je momentálně jedním z hlavních prostředků pro přenos dat. S postupem času začíná nahrazovat například DSL (Digital Subscriber Line) technologie a tím pádem i metalickou strukturovanou kabeláž. DSL technologie byla dříve hojně využívána pro telefonní spojení či televizí přenosy. Přenosovým médiem u DSL technologií je kroucená dvojlinka nebo třeba koaxální kabel.

Samotná optická vlákna se vyvíjejí již od počátku 70. let 20. století. Obrázek 1.1 zachycuje růst popularity optické kabeláže v různých zemích. K výhodám optic-



Obr. 1.1: Růst optické konektivity napříč vybranými státy pro rok 2016–2017[2]

kých vláken patří například nízký útlum, vysoká šířka pásma, bezpečnost přenosu či odolnost vůči elektromagnetickému rušení a přeslechům. Lepší odolnost vůči elektromagnetickému rušení v porovnání s metalickou kabeláží zajišťuje konstrukce vlákna ze skla či plastu. Samotná optická vlákna jsou dělena do několika kategorií. Jednovidová neboli single mode (SM), mnohovidová neboli multi mode (MM) a gradientní. Značný rozdíl je také u kabeláže, jenž se používá v budovách za téměř neměnných podmínek okolí a kabeláží venkovní, jenž je vystavena náročnějším podmínkám [1].

1.1 Jednovidová vlákna

Vlákna se vyznačují nízkým útlumem, malou disperzí a velkou šířkou pásma. Jednovidová vlákna se dále vyvíjejí, parametry těchto vláken jsou dohledatelné v doporučeních organizace ITU (International Telecommunications Union), doporučení specifikují jednotlivé standardy pro single mode vlákna, příkladem G.652 a jeho

modifikace, G.653 a v neposlední řadě G.657 a jeho modifikace G.657.A. Vlákná si najdou své využití na delších trasách. Vláknem je typicky konstruováno s průměrem jádra v rozmezí $7\text{--}9\text{ }\mu\text{m}$ a průměrem pláště $125\text{ }\mu\text{m}$. Šířka pásma může dosahovat až 10 GHz. Útlum je rozdílný v závislosti na použité vlnové délce. Právě single mode vlákna tvoří páteřní strukturu při propojování měst, států, či kontinentů. Některé standardy, ku příkladu již zmíněný G.657.A, je upravují tak, že je možné použít vlákna i na relativně krátké vzdálenosti. Nevýhodou však je cena, jsou značně dražší než vlákna mnohovidová [1, 3].

1.2 Mnohovidová vlákna

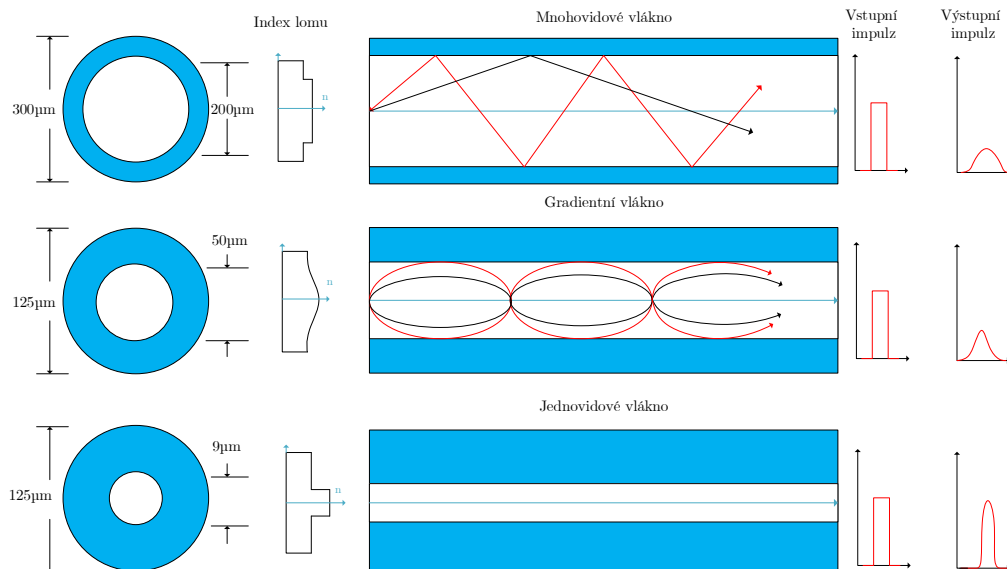
Vlákná tohoto typu se naopak od jednovidových vláken využívají na krátké vzdálenosti. Útlum tohoto vlákna se pohybuje v rozmezí 5–20 dB/km, což je jejich značná nevýhoda, stejně jako malá šířka pásma 60 MHz. Průměr jádra je v rozmezí 50–200 μm , pláště 120–300 μm . Využití proto lze nalézt například v lokálních sítích. Vlákná jsou na druhou stranu relativně jednoduché na výrobu a manipulaci. Další výhodou těchto vláken je možnost buzení pomocí elektroluminiscenční diody [1, 3].

1.3 Gradientní vlákna

Dalším typem jsou vlákna gradientní, která podléhají standardům G.651. Gradientní vlákna jsou ve své podstatě vlákna mnohovidová, rozdíl mezi nimi je možno naznat při pohledu na šíření paprsku ve vlákně samotném viz obr. 1.2.

Gradientní vlákna mají plynulou změnu indexu lomu, kdežto obyčejná mnohovidová vlákna mají skokovou změnu indexu lomu. Pro porovnání je vidět i vlákno jednovidové, typicky se skokovou změnou indexu lomu. Z obrázku je patrné, že paprsek má při průchodu gradientním vláknem tvar eliptický, tímto půběhem je snižována vidová disperze. V těchto typech vlákna dochází k růstu rychlosti šíření s rostoucí vzdáleností od osy vlivem rozdílného příčného indexu lomu. Z tohoto poznatku plyne, že paprsky, které protínají osu vlákna pod většími úhly, urazí delší dráhu, ale s vyšší rychlostí. Na druhou stranu paprsek, který prochází vláknem v rovnoběžnosti s osou, urazí kratší dráhu, ale pomaleji. V závěru nastává případ, kdy doby průchodů paprsků vláknem jsou totožné.

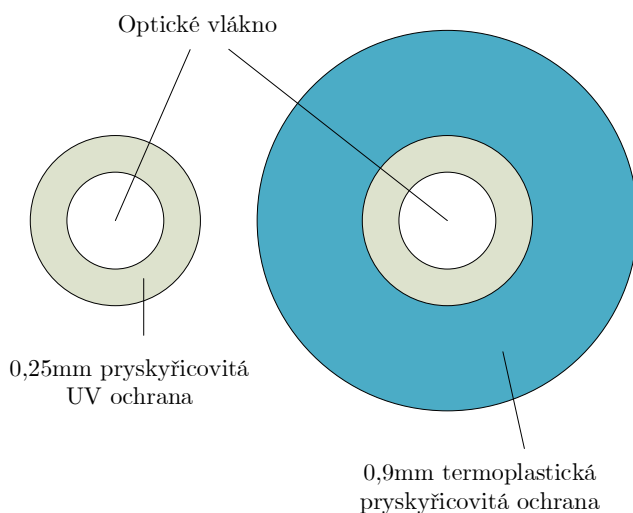
Průměr jádra činí 50 μm a pláště 125 μm . Šířka přenosového pásma je 600 MHz. Celkově mají vlákna menší disperzi a menší útlum než vlákna mnohovidová se skokovou změnou indexu. Vlákná jsou vhodná pro přenos dat na krátké vzdálenosti. Opět jsou k nalezení v lokálních sítích [1, 3].



Obr. 1.2: Porovnání řezu jednotlivých módů [1]

1.4 Optická kabeláž pro vnitřní užití

Tyto kabely povětšinou nebývají vystaveny vysokým rozdílům teploty a ani mechanickým vlivům okolního prostředí, jak tomu bývá u kabeláže venkovní. Na druhou stranu se kladou větší nároky na ochranu proti ohni. Kabeláž musí být také tolerantnější v rámci ohebnosti pro možnost použití při vertikální instalaci. Jsou většinou typu tight buffer. Obrázek 1.3 názorně ukazuje stavbu kabelu typu tight buffer.

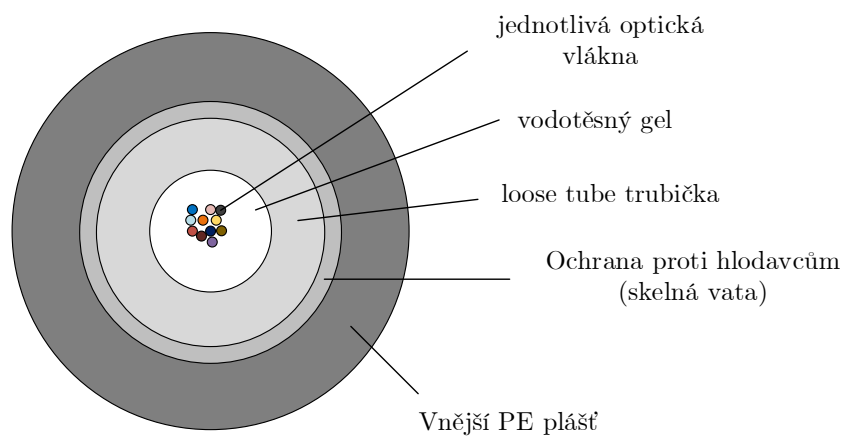


Obr. 1.3: Vnitřní struktura kabelu typu tight buffer [4]

Samotné vlákno je pokryto 0,9 mm tlustou vrstvou termoplastické pryskyřice, která zajišťuje potřebné vlastnosti na ochranu a ohebnost vlákna. Výhodou této ochrany je také možnost snadného přístupu a jejího odebrání [4].

1.5 Optická vlákna pro venkovní užití

Optická kabeláž pro venkovní užití musí být navržena tak, aby chránila samotné vlákno před vlivem okolního prostředí. Při návrhu tudíž musí být brán zřetel jak na mechanické vlivy, tak také vodotěsnost musí být zajištěna. Proto je venkovní kabeláž většinou typu loose tube. Struktura tohoto typu kabelu viz obr. 1.4.



Obr. 1.4: Vnitřní struktura kabelu typu loose tube

Právě díky výše zmíněným nárokům bývá kabeláž plněna pomocí speciálního gelu, který zajišťuje ochranu před vniknutím vody do blízkosti vlákna. Gel také zajišťuje možnost pohybu jednotlivých vláken, což je velice výhodné, protože vlákno nepodléhá tlaku při různé teplotní roztažnosti materiálu. Tímto je opatřena a zajištěna delší životnost vlákna nezávisle na okolní teplotě [5].

2 Parametry optického vlákna

Parametry optického vedení jsou závislé na konstrukci a typu vlákna. Tyto parametry dále typy vláken definují a určují minimální a maximální hodnoty, při kterých se dá vlákno použít pro určitý druh přenosu. Mezi důležité parametry patří:

- Numerická apertura,
- šířka pásma,
- útlum vlákna,
- disperze.

Zvláštním parametrem je MFD (Mode Field Diameter), tento parametr většinou udávají výrobci jednovidových optických vláken nebo je také vyjádřen v doporučeních ITU pro jednotlivé typy jednovidových vláken. Je udáván místo průměru vlákna. Jelikož se optické záření šíří většinou v jádru, ale částečně i v plášti. Ve své podstatě je to konstanta, která udává šířku, ve které je intenzita optického záření větší či rovna 0,135 z maximální intenzity, MFD 0,135/max. Nutností je uvědomit si, že čím je vlnová délka kratší, MFD je menší. Z toho plyne, že vidový průměr je závislý na vlnové délce. Na tento parametr je důležité brát zřetel při výpočtu útlumu při spojování dvou různých vláken, může nastat situace, kdy dvě rozdílná vlákna mají stejné geometrické rozměry, ovšem MFD je rozdílné [1, 6].

2.1 Numerická apertura (NA)

Tato veličina popisuje schopnost vlákna navázat z okolního prostředí do svého jádra určitý optický výkon. Určuje maximální úhel, pod kterým je světelný paprsek schopný vstoupit do optického vlákna, tak aby se přenášel právě přes toto vlákno. Čím větší numerická apertura je, tím větší je účinnost navázání světla. Hlavní podmínkou je dostatečný rozdíl indexů lomu mezi optickým jádrem a obalem. Numerická apertura je rovna sinu maximálního úhlu Φ_{max} , pod kterým ještě dochází k šíření paprsku od začátku vlákna po jeho konec. Pokud je tento úhel větší než Φ_{max} , nedojde k šíření paprsku vláknem. Numerická apertura je dána vztahem [1, 6]:

$$NA = \sin \Phi_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (2.1)$$

2.2 Šířka pásma

Šířka pásma závisí na vlnové délce optického signálu a konstrukci vlákna. Udává se v MHz·km. Určuje maximální kmitočet signálu, který je spolehlivě přenášen na vzdálenost 1 km, aniž by docházelo k markantnímu zkreslení signálu [1, 6].

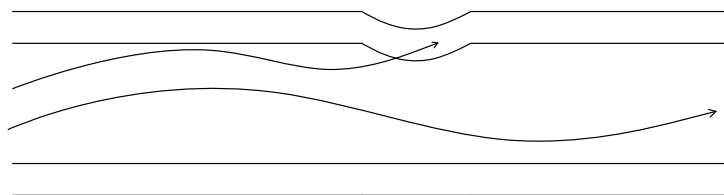
2.3 Měrný útlum

Měrný útlum je nejdůležitějším parametrem optického vedení. Měrný útlum je udáván v dB/km. S rostoucí vzdáleností od zdroje signálu postupně klesá výkon signálu v optickém vlákne a roste měrný útlum. Měrný útlum je povětšinou zapříčinován rozptylem světelných paprsků na nehomogenitách, absorbcí prostředí nebo rozptylem na mikroohybech.

Při měrném útlumu vlastní absorpcí dochází k pohlcení části optického záření molekulami materiálu optického vlákna. Naopak nevlastní absorpce je zapříčiněna absorbcí molekul nečistot, z nichž jsou nejvlivnější ionty kovů Fe, Cu, Cr. Při žíhání vlákna zůstávají ve vlákne ionty OH, které při určitých vlnových délkách také zapříčiňují absorpci optického záření.

Jelikož optická vlákna jsou tvořena z amorfních látek to znamená, že molekuly jsou v materiálu náhodně rozloženy a tvoří mikronehomogenity. Na těchto mikronehomogenitách dochází k lomu a odrazu části paprsku. Nastává tak rozptyl paprsku do všech směrů. V případě, že jsou nehomogenity rozměrově malé vůči vlnové délce, je rozptyl na těchto nehomogenitách nazýván Rayleighův.

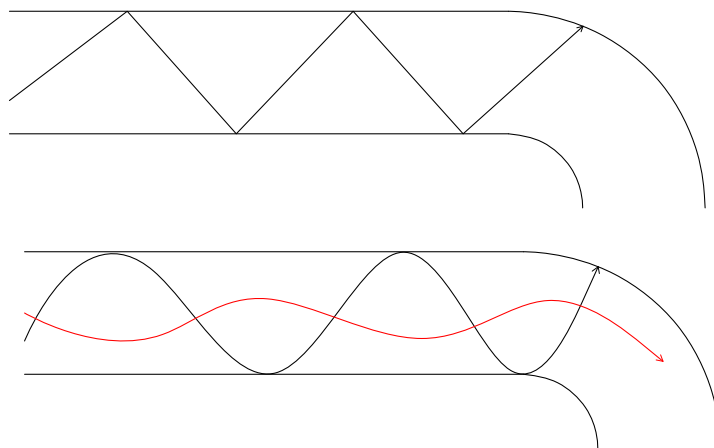
Další ztráty mohou být způsobeny špatnou konstrukcí a geometrií vlákna. S tím souvisí ztráty mikroohyby, kdy dochází k poruše přímocárosti osy vlákna. Můžou být způsobeny například při výrobě nebo působením okolních elementů, které deformují plášť. Existují také ztráty makroohyby, ty vznikají v praxi při ohybu vlákna. Důležitou roli při citlivosti na ohyby hraje u jednovídrových vláken průměr vidového pole, čím je tento průměr větší, tím je vlákno na ohyby citlivější. Příklad mikroohybu jsou naznačeny viz obrázek 2.1 a makroohybu viz obrázek 2.2 [1, 6].



Obr. 2.1: Příklad mikroohybu vlákna [6]

2.4 Disperze vln

Disperze vln zapříčiňuje zkreslení signálu při průchodu vláknem a také dochází k rozšiřování energie v čase. Disperze je závislá na druhu optického vlákna, jelikož ku příkladu vidová disperze neexistuje u jednovídrových vláken [1, 6].



Obr. 2.2: Příklad makroohybu vlákna [6]

2.4.1 Chromatická disperze

Jak je známo, zdroje záření nejsou dokonale monochromatické, ale vyzařované záření obsahuje více spekter vlnových délek. Jednotlivé složky mají rozdílnou rychlost šíření, což způsobuje rozdíly v časech dopadu na konci vlákna. Tento zdeformovaný impulz může narušit bitové mezery a následně zkreslit přenášená data.

Chromatická disperze omezuje šířku kmitočtového pásma vlákna a tím omezuje vzdálenost, na kterou jsme schopni data přenášet. U vlnové délky 1310 nm je chromatická disperze jednovidových vláken nulová. V současné době existují možnosti, které umožňují měnit jádro a tak měnit i průběh chromatické disperze [1, 6].

2.4.2 Polarizační disperze

Polarizační disperze neboli PMD (Polarization Mode Dispersion) je zanedbatelná pro rychlosti pod 2,5 Gb/s, při rychlostech vyšších nastává nutnost ošetření polarizační disperze.

Vid, šířící se jednovidovým optickým vláknem, se šíří v polarizačních rovinách, které jsou na sebe vzájemně kolmé. Pokud je kruhová nesymetrie optického vlákna z jakéhokoli důvodu porušena, dojde k různé rychlosti šíření obou polarizací a tím ke zkreslení signálu. Kruhová nesymetrie může být způsobena ku příkladu mikroohyby, špatnou montáží kabelu a následným vnějším tlakem [1, 6].

2.4.3 Vidová disperze

Vidová disperze je typická pro mnohovidová vlákna, kde ovlivňuje šířku přenášeného pásma. Důležitá je také vzdálenost, na kterou jsou data přenášena. Každý paprsek,

díky rozdílným velikostem vstupních úhlů mezi trajektorií paprsku a osou vlákna, dorazí na konec vlákna v rozdílném časovém rozestupu. Obecně platí, že čím je větší tento úhel, tím musí paprsek urazit delší dráhu a tím roste jeho zpoždění.

Tento jev omezuje počet impulzů, které je možno vyslat za určitý interval. Pokud je vzdálenost přenosu větší než 1 km, vidy nejsou přenášeny od počátku vlákna na jeho konec za stejnou dobu a opět dochází ke zkreslení vstupního impulzu [1, 6].

3 Standardy jednovidových vláken

S rozvojem různých druhů optických vláken došlo k vytvoření doporučení pro jednotlivé druhy. Tyto doporučení zahrnují specifikace parametrů vlákna, jak doporučené rozměry vlákna, tak například doporučené rozmezí útlumu, doporučenou vlnovou délku pro přenos nebo hodnoty chromatické disperze. Tyto doporučení byly sepsány mezinárodní telekomunikační unií.

První standardy optických vláken byly sepsány v 80. letech minulého století. V této době docházelo především k vývoji vláken mnohovidových, z toho plyne sepsání prvních standardů pro tyto typy vláken. ITU specifikovala vlastnosti mnohovidového vlákna s proměnným indexem lomu v jejich doporučeních G.651. Standardy jednovidových vláken budou rozebrány v následujících podkapitolách [1].

3.1 Standard G.652 a jeho modifikace

Jednovidové vlákno typu G.652 je standardní singlemode vlákno s rozměry $9/125\ \mu\text{m}$. Tento typ se používal původně pro vlnové délky 1310 nm, ale nyní i pro 1550 nm. Dříve nešlo tuto vlnovou délku využít kvůli absenci laserů jako zdroje. Předností této vlnové délky je útlum přibližně o polovinu menší než při vlnové délce 1310 nm. Vlákno se také označuje jako unshifted fiber to značí, že nijak nepotlačuje chromatickou disperzi, která je relativně velká u tohoto typu vlákna. Modifikací původního standardu je G.652.C. Výhodou je možnost užití vlákna v rozsahu 1360–1530 nm vlnové délky. Poslední modifikací je G.652.D, která je sloučitelná s ostatními vlákny typu G.652. Zároveň je G.652.D nejpoužívanějším typem jednovidového optického vlákna [7].

3.2 Standard G.653

Vlákna tohoto typu jsou jinak značena jako vlákna DSF (Dispersion Shifted Fiber). V tomto typu vláken již dochází k potlačení chromatické disperze, nutností je ovšem použití pouze jedné vlnové délky pro průchod paprsku vláknem. Při použití více vlnových délek dochází k nežádoucím přeslechům, překrývání vlnových délek a vytváření jiných parazitních kanálů. Vlákna nejsou příliš využívána skrze náklady na výrobu a limitující vlastnosti [8].

3.3 Standard G.654

Doporučení G.654 pro optická vlákna se využívá pro podmořské aplikace. Vlákna pracují na vlnové délce 1550 nm. Zkratka pro tyto vlákna je CS-SMF (Cut-off Shifted Single-Mode Fiber) [9].

3.4 Standard G.655

Zkráceně NZ-DSF (Non Zero-Dispersion Shifted Fiber). Vlákno pracuje ve vlnových délkách 1550 nm a 1625 nm. Dochází zde k podpoře vlnového multiplexu a nedochází zde k vedlejším efektům, jako je tomu u standardu G.653. K nežádoucím efektům nedochází zásluhou posunutí nenulové disperze [10].

3.5 Standard G.656

Stejně jako G.655 má vlákno posunutou nenulovou disperzi. Avšak vlákno pracuje na vlnových délkách v rozmezí 1460–1625 nm. Díky posunutí disperze se redukuje výskyt nelineárních efektů. Vlákna se používají v DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) a CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) systémech [11].

3.6 Standard G.657

Posledním typem jsou vlákna G.657, která mají dvě kategorie G.657.A a G.657.B, každá z těchto kategorií má další podkategorie. Obecně má vlákno menší ztráty při ohýbání, proto je možné vlákna nalézt v přístupových sítích a budovách. Mezi klady tohoto typu vlákna patří tedy snadnější a rychlejší instalace, protože nenastává potřeba striktního hlídání poloměrů ohybu vlákna ve spojkách či rozvaděčích. S tím souvisí i snazší vedení kabelů ve vnitřních prostorách až ke koncovým uživatelům. Také se otevírají nové možnosti konstrukce kabelů s malým celkovým průměrem skrze těsnější zapouzdření vláken. V tabulce 3.1 je k vidění porovnání určitých parametrů pro vybrané standardy. Naopak mezi nevýhody může například patřit relativně vyšší útlum optických vláken díky složitějším profilům indexu lomu.

Kategorie G.657.A je určena spíše pro přístupové sítě a vhodný rozsah užití vlnových délek je mezi 1260 nm–1625 nm. Výhodou vlákna G.657.A je kompatibilita s vláknem typu G.652.D. Naopak vlákno kategorie G.657.B je vhodné na krátké vzdálenosti na koncích přístupových sítí, například v budovách. Vhodné vlnové délky

pro přenos jsou 1310, 1550 nm. Tyto vlnové délky jsou voleny kvůli vhodnému rozestupu mezi sebou, který souvisí s transportem signálů uvnitř budov. Malou nevýhodou však jsou rozdílné vlastnosti při spojování vláken oproti standardu vláken G.652, vlákna tak nemusí být kompatibilní [12].

Tab. 3.1: Porovnání vybraných standardů [7, 8, 9, 10, 11, 12]

Parametr		G.652.C	G.652.D	G.653.A	G.654.A	G.655.C	G.656.A	G.657.A
útlumový koeficient [dB/km]	max. na 1310 nm	-	-	-	0,22	-	-	-
	max. na 1460 nm	-	-	-	-	-	0,4	-
	max. na 1550 nm	-	-	0,35	-	0,35	0,35	-
	max. na 1625 nm	-	-	-	-	0,4	0,4	-
	max. od 1310–1625 nm	0,4	0,4	-	-	-	-	0,4
mezí vlnová délka (maximální) [nm]		1260	1260	1270	1530	1450	1450	1260
minimální odolnost spoje [GPa]		0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
vlnová délka (MFD) [nm]		1310	1310	1550	1550	1550	1450	1310

4 Spojování optických vláken

Optická vlákna se vyrábějí v různých délkách a může nastat případ, kdy je nutnost trasu prodloužit či zkrátit. Existuje také možnost, případného přerušení optického vlákna na trase. Vzniká tak potřeba napojování vláken. Spojování optických vláken je důležitý proces, který klade důraz na to, aby byl útlum, který při spojování vláken vzniká, minimální. Ideální případ by nastal pokud by nevznikal žádný útlum. V praxi samozřejmě vložný útlum vzniká a je závislý na zvolené technice spojování, kvalitě provedení a druhu vlákna.

Při spojování vláken vzniká požadavek, aby vlákna ležela v jedné společné ose a ve vzájemné blízkosti, přičemž oba konce, které se spojují musí být rovinné a kolmé ke společné ose. Právě touto rovinností konců a kolmostí k ose se dosahuje nejlepších podmínek pro spojení vláken a tím i nejlepších parametrů spojeného vlákna. Pro vzájemné propojení vláken tedy lze využít permanentního spojení a semipermanentního spojení. Mezi techniky permanentního neboli nerozebíratelného spojení patří například tavné svařování nebo mechanické spojování mechanickými spojkami či optickými konektory. Mechanické spojování se dá také zařadit do technik semipermanentního neboli rozebíratelného spojení. Zde se používají například rychlokonektory [1, 6].

4.1 Úvod do problematiky spojování

Při každé technice spojování vzniká vložný útlum. Tento útlum je možný definovat vztahem

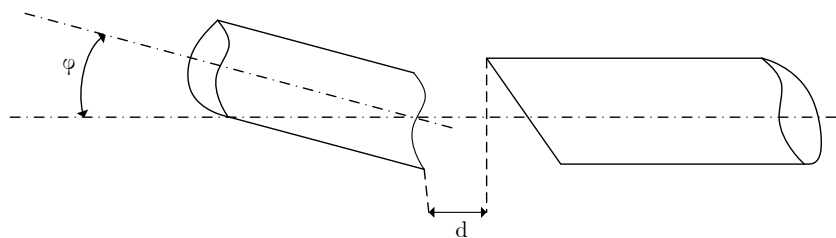
$$A = -10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (\text{dB}), \quad (4.1)$$

kde P_1 je měřený výkon na konci vlákna, P_2 výkon na vstupu do vlákna.

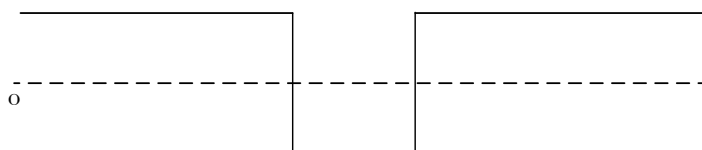
V praxi dochází k měření P_2 až za spojem, protože v případě permanentního spojení nelze změřit.

Jak již bylo zmíněno při spojování je nutné, aby plocha obou konců spojovaných vláken byla rovinná. Obrázek 4.1 zobrazuje právě špatné zalomení vláken a také špatnou pozici os jednotlivých vláken. Opakem je ideální zalomení obou vláken bez nerovností na spojovaných plochách a dokonalá souosost viz obr. 4.2. Každé vlákno má rozdílné vlastnosti závislé na druhu vlákna, podle toho je tudíž nutno přistupovat i při spojování. Ztráty na vláknech mohou být různého původu, buď vnitřními vlivy, ty souvisí s rozdílnými vlastnostmi vláken nebo vnějšími vlivy, ty naopak souvisí se ztrátami ve spojení.

Mezi vnitřní vlivy patří například nepříznivé působení indexů lomů. Ztráty vnějšími vlivy je možno snížit kvalitním zalomením a spojením vláken. Mezi tyto vlivy patří



Obr. 4.1: Příklad chyb u spojování vláken [?]



Obr. 4.2: Ideální zalomení vlákna s jednotnou osou

již zmíněná kvalita opracování konce, radiální odchylka, axiální posuv či úhlový posuv.

Radiální odchylka je způsobena radiálním posuvem vláken vůči jejich ose. Ztráty tak vznikají odchylkou od souměrnosti jader obou vláken. Tato odchylka může vzniknout při rozdílné toleranci průměrů obou vláken nebo excentricitou jádra vlákna vzhledem k ose. Pokud dochází ke spojení dvou vláken s velmi malými průměry musí se dbát na vysokou přesnost, jinak je vysoká pravděpodobnost, že po spojení vláken nedojde k navázání části paprsku.

Axiální posuv a úhlový posuv. Druhý zmíněný se příliš nevyskytuje, díky menší citlivosti vlákna na tyto typy ztrát a přesnosti výroby. Axiální posuv nastává v případě pokud jsou obě vlákna příliš vzdálená od sebe, část paprsku tak prostupuje do pláště vlákna [1, 6, 13].

4.2 Permanentní spojení

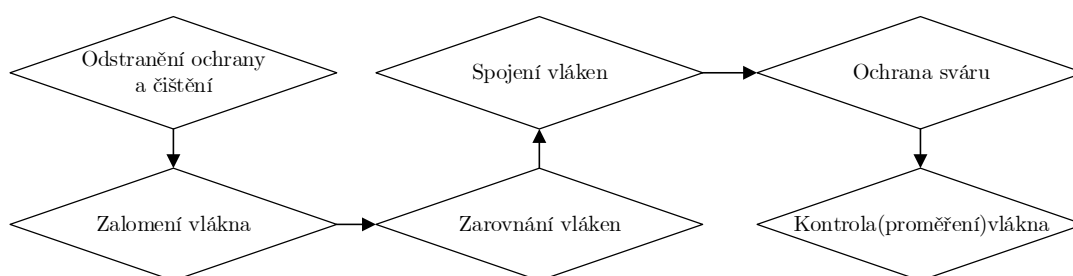
Do permanentního spojení vláken patří tavné svařování, metoda lepení a metoda metalických spojek [1].

4.2.1 Tavné svařování

Tavné svařování lze provádět pomocí laseru nebo elektrického oblouku. Touto technikou lze docílit nejvyššího sváru, proto je také tato technika nejrozšířenější.

Svár má velice nízký útlum, který při použití kvalitní svářečky a precizní práci může nabýt hodnoty kolem 0,03 dB i méně.

Tavné svařování může být děleno na několik základních úkonů. Jednotlivé úkony jsou vyobrazeny na obrázku 4.3. Nejprve musí dojít k odstranění polymerové ochrany, jak sekundární, tak primární. Po odebrání ochrany je nutné vlákno očistit a poté se jej již nedotýkat, aby se neobjevily nečistoty na vlákně. Vlákně se ve většině případů čistí lihem nebo jakýmkoli isopropylem. Následně dojde k zalomení vlákna tak, aby mělo dokonale rovnou plochu čela. Nejvyšší povolená odchylka od kolmosti lomu bývá 1° . Následuje vložení zalomeného vlákna do připravených V drážek, které



Obr. 4.3: Postup při tavném svařování

svářečky obsahují. Aby došlo ke spojení dvou vláken je nutné zajistit vyrovnaní vláken ve svářečce a umístění obou vláken do ideální vzdálenosti od sebe. V neposlední řadě je nutné obnovit primární i sekundární ochranu vlákna. Primární ochrana může být obnovena pomocí speciálního silikonu. Pro obnovení sekundární ochrany se navléká na svár speciální plastová trubička, která se zahřívá v pícce. Zahřátím se tato trubička smrští. Trubička obsahuje ocelový drát, který slouží jako podpora vlákna. Nakonec dochází ke kontrole vlákna, kdy se testuje mechanická odolnost svárů a měří či počítá vložný útlum sváru dle rovnice (4.1) [6, 13].

4.2.2 Slepované spoje a mechanické spoje

Slepované spoje mají vložný útlum pohybující se kolem 0,1 dB. Základem spojení vláken je lepidlo, které má podobný index lomu jako vlákna a zároveň vlákno chrání před okolními vlivy. Problémem techniky lepení spojů je změna teploty, pokud dojde k prudké změně teploty může dojít ke zvýšení útlumu až o 0,1 dB.

Spojení vláken pomocí mechanických spojů trpí také na rozdíly teplot. Vložný útlum se pohybuje v rozmezí 0,1–0,15 dB. Méně kvalitní spoje mohou dosahovat dokonce útlumu až 0,2 dB. Spojení je zajištěno například V drážkami, které jsou opatřeny různými gely či pryskyřicí pro soudržnost. Výhodou této metody je cena a nenáročnost [1, 6].

4.3 Semipermanentní spojení

U semipermanentního spojení hraje významnou roli správné počáteční nastavení obou vláken. Konce vláken jsou vloženy do konektoru a je důležité, aby nedošlo k vzájemnému dotýkání konců a následnému poškození čelních ploch. Zároveň je žádoucí dodržet mezeru mezi vlákny nepřesahující 10 % průměru jádra svazku nebo průměru jádra jednotlivého vlákna. Pokud dojde k překročení této hranice dojde k difrakci svazku a následným velkým ztrátám. Obecně se ztráty u konektorových spojů pohybují v rozmezí 0,2–0,6 dB.

U konektorových spojů je také potřeba zajistit souosost, v tomto případě je zajišťována fixačními přípravky, těmi mohou být na jedné straně křemenný kámen a na druhé kužel ze silikonové gumy [1, 6].

5 Typy optických konektorů

V návaznosti na spoje rozebíratelné vzniklo mnoho druhů optických konektorů. Ty se používají k ukončení vlákna s možností rozebrání konektoru nebo případně pro spojení dvou vláken pomocí konektoru viz předchozí kapitola. Nejčastějším typem konektorů jsou konektory s přímým čelním kontaktem optických vláken. Konektory s čelním kontaktem lze dále rozdělit do dvou skupin a to konektory s rovinným kontaktem FC (Flat Contact) a konektory s bodovým kontaktem PC (Physical Contact).

Dochází také k broušení ferule vlákna, ferule je ve své podstatě vodící kolík, který je uvnitř konektoru. Dle zvolené techniky broušení ferule je možno dále dělit do několika kategorií podle zabroušení. NPC (Non Physical Contact) vlákno je na svém konci zalomeno a zabroušeno rovně. PC (Physical Contact) při tomto typu dochází k zabroušení zalomeného vlákna na konci sféricky rovně. Broušení typu PC je dále rozšířeno na UPC (Ultra Physical Contact) a SPC (Super Physical Contact). Princip broušení je stejný jako u PC, jedná se pouze o rozlišení lepších parametrů. Posledním typem broušení je APC (Angled Physical Contact), kde dochází k zabroušení konce zalomeného vlákna úhlově sféricky. Broušení typu APC je možné použít pouze u jednovidových vláken. Ferule je vyrobena ze zirkoniové keramiky a čelo je zabroušeno pod úhlem 8° . APC konektory jsou nejkvalitnější, ale naopak nejdražší.

Pro urychlení celého procesu konektorování existují předkonektorované vlákna zvané „pigtaills“. Tyto vlákna jsou ukončena konektorem pouze na jedné straně vlákna. Druhý konec vlákna je bez konektoru a umožňuje tak rychlé svaření bez nutnosti konektorování. Oproti tomu optický „patch cord“ je již zhotovený celý kabel, který má na obou koncích konektor. Obě varianty existují v mnoha provedeních podle potřeby [1, 16].

5.1 Konektor typu FC

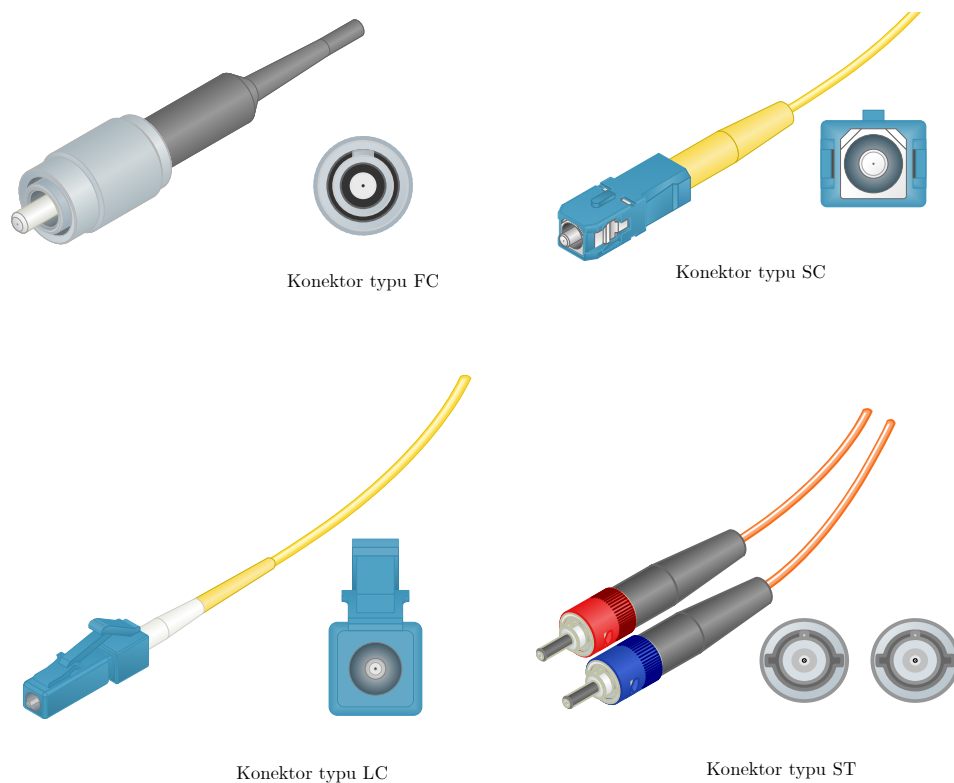
Konektory typu FC (Fiber Connector), mají spojovací části opatřeny šroubovým závitkem. Používají se typicky jako konektory mnohovidových vláken. Ferule má průměr 2,5 mm a délku 7,5 mm. Útlum konektoru nepřesahuje hodnoty větší než 0,3 dB po dobu mechanické životnosti konektoru. Využití nachází v telekomunikacích, ale často také v měřicích zařízeních nebo při CATV aplikacích [15, 16].

5.2 Konektor typu LC

Tento konektor je jedním z nejkvalitnějších optických konektorů. Spadá pod skupinu miniaturních typů SFF (Small Form Factor). Optický konektor LC (Lucent Connector) existuje v provedeních pro jednovidová vlákna i mnohovidová. Vložný útlum poté je kolem 0,15 dB pro SM a 0,10 dB pro MM. Využití nalezne u vysokorychlostních přenosů či k ukončení optických vláken v rozvaděcích. Slouží jako náhrada klasického metalického konektoru RJ-45 [15, 16].

5.3 Konektor typu SC

Konektor typu SC (Subscriber Connector), je momentálně nejpopulárnějším konektorem. Využívá se především v lokálních optických sítích. Může být užit jak pro jednovidová vlákna, tak pro mnohovidová a slouží jako náhrada za starší typ konektoru ST (Straight Tip). Využívá principu „zasuň/vysuň“ (push pull). Výhodou jsou nízké náklady, trvanlivost a jednoduchost konstrukce. Vložný útlum u jednovidového vlákna je kolem 0,2 dB, mnohovidového kolem 0,45 dB. Obrázek 5.1 názorně ukazuje vybrané typy konektorů včetně předního pohledu [15, 16].



Obr. 5.1: Přehled konektorů

5.4 Konektor typu ST

Optický konektor ST je k nalezení v rozvodech lokálních sítí. Konektor využívá bajonetového uchycení. Provedení může být opět jednovidové i mnohovidové a vložený útlum je 0,4 dB pro jednovidová vlákna a 0,5 dB pro vlákna mnohovidová [15, 16].

6 Optická síť

Základní funkcí optických sítí je propojení koncových lokalit, za účelem komunikace. K rozvoji optických sítí došlo v 80. letech 20. století, s postupným rozvojem optické kabeláže. U optických sítí hraje důležitou roli mnoho faktorů, mezi které patří kapacita sítě, spolehlivost, cena či škálovatelnost sítě. Tyto faktory určují hodnotu sítě.

Důležitou roli při této formě komunikace hraje multiplexování. Multiplexování je proces, kdy dochází ke zkombinování více datových toků do jednoho signálu. Pro přenos dat v optických sítích se využívá technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) neboli vlnový multiplex a jeho různé modifikace například DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Tato technologie umožňuje za užití různých vlnových délek přenos vícero optických signálů skrze optické vlákno [1, 17].

Na samých počátcích 90. let 20. století byla maximální přenosová kapacita, která mohla být přenášena po jediné vlnové délce jen stěží 2,5 Gb/s. Pro porovnání v tomto roce se organizaci NICT (National Institute of Information and Communications Technology) podařilo experimentálním výzkumem dosáhnout přenosové rychlosti až 159 Tb/s na vzdálenost 1045 km pomocí 3-vidového vlákna. Rozdíl v optických sítích je tudíž dnes a na samotných počátcích markantní. Dříve bylo nutností regenerovat signál již po krátkých vzdálenostech nepřesahujících jeden kilometr, současné technologie umožňují přenášet data na několik set kilometrů bez nutnosti regenerace signálu. Docházelo také k velkým ztrátám a finančně byly optické sítě velice náročné [17, 18].

6.1 Obecná hierarchie optických sítí

Obecně se optická síť dá rozdělit do několika vrstev, tyto vrstvy jsou rozdílné v počtu zákazníků, kterým slouží, potřebné přenosové kapacitě a také v rozsahu vzdálenosti, kterou optická síť pokrývá.

Na samém začátku je optická přístupová síť zkráceně OAN (Optical Access Network). Ta slouží k propojení koncových uživatelů k vyšším vrstvám sítě. Úkolem je sbírat provoz od zákazníků či naopak distribuovat data ze sítě k zákazníkům. Zajišťuje tudíž přístup koncových uživatelů k páteřní části sítě. Přístupová síť se rozkládá v rámci kilometrů. Následuje metropolitní síť, která je zodpovědná za sběr provozu z přístupové sítě a dosahuje délky stovek kilometrů. Za metropolitní síť může následovat síť regionální. Tyto dvě vrstvy slouží k transportu dat do páteřní sítě a často mohou být sloučeny. Sloučená vrstva může být též zvana jako transportní síť. Základní částí je však páteřní síť, tato část se rozkládá většinou na

několika tisících kilometrech. Musí mít velkou přenosovou kapacitu. Cenově je budování páteřních sítí velice náročné. V současné době je toto hierarchické rozložení pouze obecný případ a ne v každém případě je hierarchie taková, jelikož momentální technologie umožňují vynechání některých vrstev [17].

6.2 Optická přístupová síť

Jak již bylo zmíněno optická přístupová síť slouží k propojení koncových uživatelů k páteřní síti a umožňuje transport dat v duplexním režimu. Požadavky na tuto část sítě jsou čím dál vyšší, jelikož dochází k růstu telekomunikačních služeb a počtu zákazníků v této části sítě. Z toho je také plynoucí rostoucí požadavek na šířku přenosového pásma a tudíž i přenosovou rychlost. Momentální technologické možnosti umožňují užití optického vlákna i v optických přístupových sítích či menších lokálních optických sítích. Optická vlákna či kabeláž tak není již výsadou páteřní části sítě, jak tomu bylo donedávna.

Optická přístupová síť je složena z funkčních celků, každý z nich má jinou podstatu v síti. OLT (Optical line Termination nebo Terminal) je optické linkové zakončení a slouží jako síťové rozhraní mezi přístupovou sítí a sítí providera. Následuje ODN (Optical Distribution Network), optická distribuční síť slučuje optické přenosové prostředky mezi OLT a ONU. Předposlední částí je ONU (Optical Network Unit), optické ukončující jednotky, které slouží jako rozhraní mezi optickou a metalickou částí přístupové sítě. Závěrem ONT (Optical Network Terminal), optické ukončující jednotky, slouží jako účastnické rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou optickou sítí. Příkladem jsou služby jako VOIP, data či video.

S postupným nahrazováním metalické kabeláže v přístupových a malých lokálních sítích došlo ke vzniku pojmenování této technologie jako FTTx (Fiber to the ...). Toto označení je různé v závislosti jak je optické vlákno ukončeno, respektive kde je vlákno ukončeno. Základní dělení je následující:

- FTTD (Fiber To The Desk), optické vlákno je přivedeno přímo do „stolu“ účastníka a jsou přímo připojeny do CPE (Customer Premise Equipment) s optickým vstupem,
- FTTH (Fiber To The Home), optické vlákno je dotáhnuto přímo k uživatelským zásuvkám,
- FTTB (Fiber To The Building), optické vlákno je nataženo do budov účastníků, samotní účastníci jsou však již připojeni skrze vnitřní síť,
- FTTC (Fiber To The Curb), optické vlákno je přivedeno k uživatelskému rozvaděči, z něhož jsou koncové body sítě připojeny pomocí metalických kabelů,

- FTTCab (Fiber To The Cab), optická vlákna jsou přivedena do prostor s účastníky, kteří kladou velké nároky na přenosovou kapacitu,
- FTTO (Fiber To The Office), optická vlákna jsou přivedena přímo do daného přístroje.

Další záležitostí u optických přístupových sítí z hlediska topologie je typ přenosových traktů v distribuční části sítě. Může být buď P2P (Point-to-Point) nebo P2M (Point-to-Multipoint). P2P neboli bod-bod je přímé spojení mezi OLT a ONT, kdežto P2M neboli mnohabodové je spojení, kdy je přenosový kanál sdílen několika uživateli, typicky u pasivní optické sítě PON (Passive Optical Network) [1, 6, 17].

6.3 LON/OLAN

LON (Local optical network) nebo někdy také OLAN (Optical Local Area Network). Tyto pojmy byly zavedeny v návaznosti právě na technologie FTTx, kdy momentálně je možnost mít celou lokální síť tvořenou z optických vláken. Výhodou je možnost využití optického vlákna pro většinu druhů služeb. Například služba CATV (Community Antenna Television), tedy kabelová televize a její signál byl čistě přenášen přes koaxiální kabel ještě donedávna. Za současných technologií může být přenosovým médiem i pro tuto službu optická kabeláž.

OLAN je komunikační či přenosový systém, který je celý instalován v objektu jediného uživatele, sdílí stejné přenosové médium, v tomto případě optické vlákno a zároveň zajišťuje přenos dat mezi stanicemi v tomto komunikačním systému. Využití lokálních sítí je například ve školách, průmyslových závodech, firmách, nemocnicích nebo také mohou být využity pro testovací účely.

OLAN má mnoho výhod oproti klasické LAN, jelikož má optické vlákno obecně lepší přenosové vlastnosti například vyšší přenosové rychlosti nebo větší šířku pásma, tak je možnost nahradit mnoho metalických kabelů jen několika málo optickými vlákny. Nevýhodou jsou však vyšší ztráty na odbočkách [1, 6, 17].

6.4 Rozvod optické kabeláže uvnitř budov

S růstem technologie FTTH či obecně FTTX, se hledá ideální způsob jak rozvádět optická vlákna v místnostech a obecně v budovách. Jelikož každá budova má různý půdorys a každá místnost je různě navržena, je nutné, aby byla instalace vlákna snadná, zůstala zachována přístupnost k vláknu a samozřejmě nesmí vlákno v místnosti nijak rušit. Při každé instalaci vlákna jsou určité základní kroky, které by měly být dodrženy. Vlákno by mělo mít určitou podporu, ať nijak nevisí, mělo by se vyhnout nárazům a zbytečnému náporu na vlákno a nadbytečným ohybům.

V budovách mohou vlákna vést uvnitř stěn, pod podlahou či v podhledech ve stropě. Výhodná technika rozvodu vláken je v zásobnících. Tyto zásobníky poskytují pohodlnou, bezpečnou a efektivní metodu instalace. Zásobníky jsou navrženy tak, že mohou být umístěny ve stropech, pod podlahou i v šachtách. Nespornou výhodou zásobníku je využití pro více vláken. Z toho plyne, že pokud již existuje trasa uvnitř budovy, není poté problém pomocí zásobníku trasu rozvést do nových místností. Optické vlákno by mělo být vedeno skrze zásobníky, aby čelilo co možná nejmenšímu napětí a zbytečným ztrátám na vlákne díky nežádoucím ohybům.

Častou volbou rozvodu vláken uvnitř budov je vedení v podhledech, tudíž uvnitř propadeného stropu. Je to nejjednodušší a zároveň nejpobulárnější možností instalace optických vláken uvnitř budov. Většina stropů nových budov je uzpůsobena jakékoli instalaci, nevýmaje instalaci optických vláken. Stropy mají panely, které jsou snadno odebíratelné a možnost rozvodu či přístupu k vláknu je tak velice jednoduchá. Tyto panely jsou velice lehké, a jsou podporovány systémem kovových rámu. Panely mohou být lehce vyjmuty, typicky při zatlačení panelu směrem nahoru. I při této volbě instalace by měly však kabely mít určitou podporu. Proto by i v tomto případě měla kabeláž být vedena alespoň v jednoduchých zásobnících a neměla by být přímo položena na stropě [20].

6.5 Nové možnosti instalace kabeláže uvnitř budov

Ne vždy však je možno vést optickou kabeláž v podhledech. Často byly v budovách bez propadeného stropu vyřezávány do stropu či do stěn díry a byly uměle vytvářeny cesty pro možnost instalace optické kabeláže. Momentálně existují však jednodušší a rychlejší metody instalace v budovách, kde tyto stropy s vyjímatelnými panely nejsou. A to pomocí ILU (In-Living Unit). Tato technologie využívá velice malého vlákna o průměru 1 mm, montovaného přímo na stěny, odkud je vlákno vedeno až ke koncové konektivě k ONT. Proces instalace ILU je velice rychlý a efektivní. Na stěnu v blízkosti ONT (Optical Network Terminal), je umístěn malý propojovací modul. Z něj je jedno vlákno vedeno přímo do ONT a také druhou stranou rozvedeno do místností. ONT je optická ukončující jednotka, sloužící jako účastnické rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou optickou sítí. Instalace vlákna je přímo do rohů stěn a to pomocí speciálního lepidla. Toto speciální lepidlo je navrženo a testováno tak, aby při různých teplotách i rozdílných materiálech a různé vlhkosti zajistilo požadovanou přilnavost k povrchu a nedocházelo tak k odchlípnutí vlákna od stropů, případně stěn. Pomocí této technologie může být vlákno přebarveno, dokonce přemístěno i po instalaci pokud je potřeba. Momentálně se pro tento typ instalace používá vlákno typu G.657.B3, které má minimální

poloměr ohybu 2,5 mm a umožňuje tak instalaci vlákna skrze mnoho rohů. Na podobném principu pracuje také MDU (multiple dwelling unit). S tím rozdílem, že tato technologie je schopna pojmout až 12 vláken. Obě technologie jsou okem téměř nespátřitelné a nespornou výhodou je jednoduchost a rychlost instalace [21].

7 Realizace optických propojů

Optické propoje byly vyvedeny vždy z místnosti SD5.67. Kabel byl tažen z této místnosti postupně do 4 různých místností a to SE5.116, SD5.62, SC5.35 a SC5.52. Mezi posledními zmíněnými místnostmi byl zvlášť natažen ještě jeden kabel. Samotné kabely jsou taženy v podhledech, jen v místnosti SC5.35 jsou malou částí taženy podlahou do racku.

Z místnosti SD5.67 do SE5.116 vede celkem 12 vláken. Do místnosti SD5.62 jsou nataženy dva dvanáctivláknové kabely, každý zvlášť. Do laboratoře SC5.35 vede jeden dvanáctivláknový kabel a do poslední místnosti SC5.52 vede jeden dvacetičtyřvláknový. Jak již bylo zmíněno mezi laboratoří SC5.35 a SC5.52 byl natažen jeden dvanáctivláknový kabel.

7.1 Svařování vláken v jednotlivých místnostech

Před samotným svářením byla nutnost odstranit z nataženého kabelu veškerou ochranu, v tomto případě byla ochrana zajištěna třemi vrstvami. První vrstva ochrany byla odebrána za pomoci kleští. Druhá vrstva ochrany byla tvořena plnicím gelem, který byl vyčištěn alkoholem.

S takto očištěnými vlákny se poté pracovalo dále, kdy došlo nejprve k odebrání ochrany jednotlivých vláken a následnému očištění, také pomocí alkoholu. Takto kompletně očištěné vlákno bylo zalomeno a vloženo do svářečky. Vlákno bylo svařováno s pigtaily, které mají konektor pouze na jedné straně, na druhé straně pigtailu došlo k aplikaci stejného postupu, který již byl zmíněn s tím rozdílem, že na pigtail byla před samotným odebráním ochrany navlečena ochranná trubička, která slouží k obnovení sekundární ochrany po svaření vláken. U dvacetičtyřvláknového kabelu při odstranění první ochrany a očištění od plnicího gelu, při snaze odstranit samotnou ochranu vlákna došlo ke zjištění, že některá vlákna jsou nalomena, toto nalomení bylo pravděpodobně způsobeno při tažení kabelu. Jelikož k tomuto zjištění došlo až po vyvaření několika vláken, bylo učiněno rozhodnutí, že některá vlákna zůstanou nevyvařena. Proto vlákna, u kterých nedošlo k vyvaření jsou označena v tabulkách písmenem X viz tabulka 7.3.

Svářečka odhaduje útlum sváru, v tabulkách 7.1, 7.2, či 7.3 jsou k vidění jednotlivé odhadované útlumy svárů svářečkou v daných místnostech. Další odhadované útlumy svárů v dalších místnostech je poté možno nalézt v příloze A. Útlumy jednotlivých svárů odhadovala svářečka v rozmezí 0,00 dB–0,2 dB, druhá zmíněná hodnota byla nejvyšší odhadovaný útlum svářečky. Takto vysoký odhadovaný útlum se vyskytl pouze v místnosti SC5.35 u sváru bílého vlákna, které je zapojeno do třetího portu viz tabulka A.6. Ostatní odhadované útlumy vláken nepřesahovaly

útlum 0,07 dB, který se také vyskytl pouze jednou. Většina odhadovaných útlumů byla 0,01 dB či 0,00 dB. Tabulky útlumů jednotlivých svárů obsahují také zapojení jednotlivých vláken do daných portů v optických vanách v daných místnostech.

Tab. 7.1: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SE5.116 směr SD5.67

Místnost SE5.116		
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
3	Černá	0,01
4	Oranžová	0,00
5	Bílá	0,01
6	Modrá	0,01
7	Červená	0,00
8	Šedá	0,01
9	Hnědá	0,00
10	Fialová	0,00
11	Růžová	0,01
12	Zelená	0,01
13	Žlutá	0,01
14	Světle modrá	0,01

Po svaření vláken dohromady došlo k obnovení sekundární ochrany v pícce, která je součástí svářečky. Obrázek 7.1 zachycuje vlákna s již obnovenou ochranou sváru, tudíž po zapečení trubičky v pícce. Na ochranu sváru byly použity plastové trubičky o velikosti 45 mm a 40 mm. Celkem bylo vyvařeno 160 svárů.

7.2 Dokumentace

Po vyvaření vláken následovalo vymotání vláken do optických van, kdy celkem bylo použito 7 optických van. Ukázku vymotaných vláken do kazety v optické vaně je možno vidět na obrázku 7.2, kde je vyobrazen starší typ vany a na obrázku 7.3, kde je vyobrazen nový typ optické vany s vymotanými vlákny. Do optických van byly namontovány duplexní SC adaptéry s broušením APC, do kterých byla jednotlivá vlákna zapojena. Návrh zapojení vláken do jednotlivých portů byl ustanoven jednotný, tak aby nedocházelo k nejasnostem.

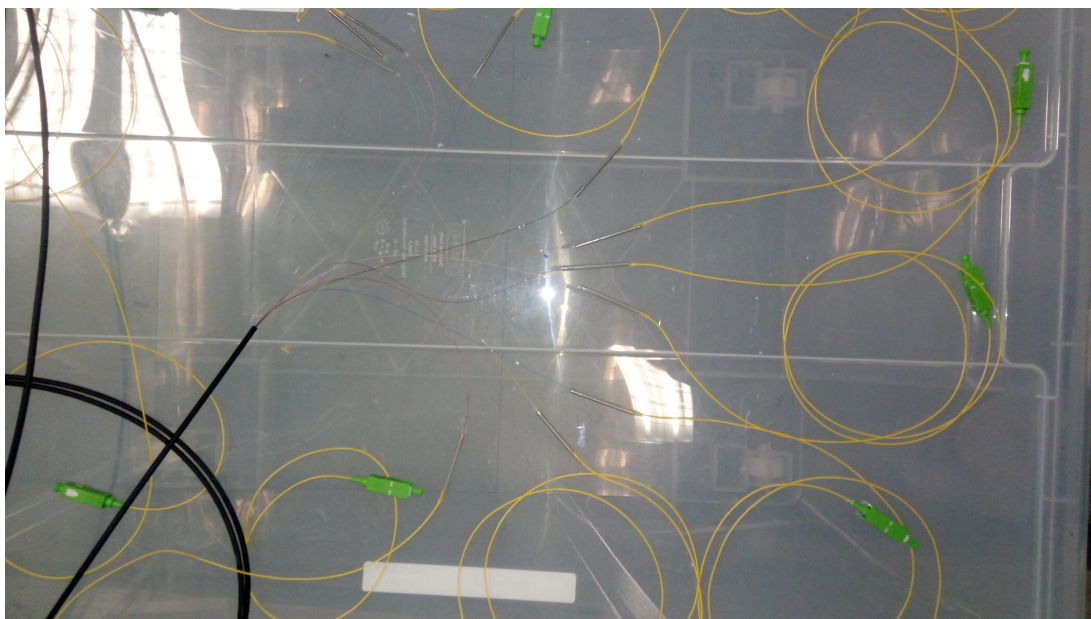
Vlákna jsou vždy zpojena postupně dle určité posloupnosti barev, která byla stanovena následovně. První vlákno je vždy barvy černé, následuje oranžové, bílé, modré, červené, šedé, hnědé, fialové, růžové, zelené, žluté, světle modré. U dvacetičtyřvláknového kabelu, který vede z místnosti SC5.52 do místnosti SD5.67 je prvních dvanáct vláken stejné barvy a jsou seřazeny ve stejném pořadí jak bylo psáno výše.

Tab. 7.2: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SE5.116

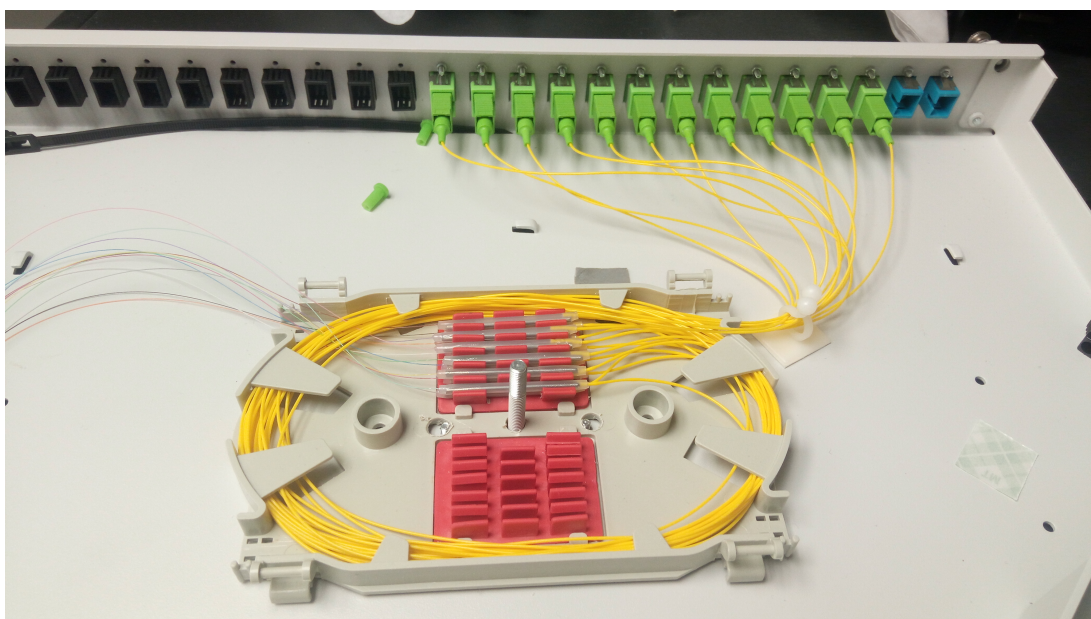
Místnost SD5.67		
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
13	Černá	0,01
14	Oranžová	0,01
15	Bílá	0,00
16	Modrá	0,01
17	Červená	0,00
18	Šedá	0,01
19	Hnědá	0,01
20	Fialová	0,00
21	Růžová	0,01
22	Zelená	0,01
23	Žlutá	0,01
24	Světle modrá	0,01

Tab. 7.3: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SD5.62

Místnost SD5.67					
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]	Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
1(S)	Černá	0,00	13(S)	Černá	0,01
2(V)	Oranžová	0,02	14(V)	Oranžová	0,01
3(S)	Bílá	0,00	15(S)	Bílá	0,00
4(V)	Modrá	0,02	16(V)	Modrá	0,01
5(S)	Červená	0,02	17(S)	Červená	0,00
6(V)	Šedá	0,03	18(V)	Šedá	0,00
7(S)	Hnědá	0,00	19(S)	Hnědá	0,01
8(V)	Fialová	0,00	20(V)	Fialová	0,01
9(S)	Růžová	0,00	21(S)	Růžová	0,02
10(V)	Zelená	0,00	22(V)	Zelená	0,06
11(S)	Žlutá	0,07	23(S)	Žlutá	0,01
12(V)	Světle modrá	X	24(V)	Světle modrá	0,01

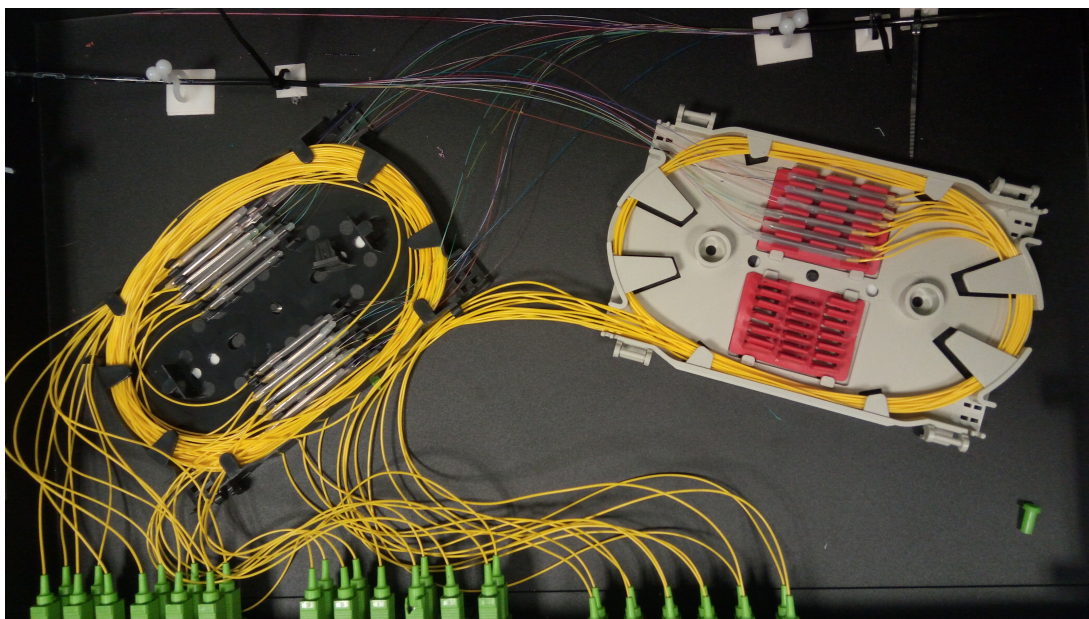


Obr. 7.1: Vlákna s obnovenou ochranou sváru



Obr. 7.2: Vymotaná vlákna do kazety ve starším typu vany

Druhých dvanáct vláken je barevně odlišeno tím, že jsou vždy na daném barevném vlákne černé proužky, to znamená, že první proužkované vlákno (ve skutečnosti 12 ve 24-vláknovém kabelu) je průhledné s černými proužky, druhé je oranžové s černými proužky a tak dále. V tomto pořadí jsou i vlákna zapojena do portů. Jelikož byly použity i vany, které již obsahovaly optická vlákna, tak zapojení do portů nemusí



Obr. 7.3: Vymotaná vlákna do kazety v novějším typu vany

být vždy od portu číslo 1, ale může být závislé na volných portech ve vaně.

Čela optických van jsou zdokumentovány a schématicky nakresleny s popisem jednotlivých portů viz obrázek 7.4. Zbytek nakreslených optických van s popisem je opět přiložen v příloze C. V této příloze je také obsažen jednoduchý půdorys s vyobrazenými propoji.

7.3 Výsledky měření přímou metodou

Po kompletním okonektorování jednotlivých vláken, vymotání do van a ustanovení zapojení portů, došlo k proměření jednotlivých propojů přímou metodou vlákno po vlákně. Při měření přímou metodou byly využity dvě rozdílné vlnové délky, nejprve 1310 nm a následně 1550 nm. Obecně je vlnová délka 1310 nm méně citlivá na ohyby, kdežto vlnová délka 1550 nm je naopak citlivější. Z toho plyne závěr, že pokud se bude na trase vyskytovat vícero ohybů, pak bude útlum při použití vlnové délky 1550 nm vyšší, než u vlnové délky 1310 nm. Na druhou stranu pokud bude výskyt ohybů minimální, menší útlum bude při užití vlnové délky 1550 nm. Při nahlédnutí do tabulky 7.4 je možno spatřit, že hodnoty měřených útlumů jsou vždy menší při vlnové délce 1550 nm, což může potvrdit výše zmíněnou skutečnost, že nedochází k mnoha ohybům na trase.

Při měření propojů došlo k situacím, kdy měřené útlumy vlákna dosahovaly hodnot, které vlastně zamezují použití vláken. Pokud by tyto vlákna byla použita, služby

Tab. 7.4: Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SC5.35

Vlnová délka 1310 nm			Vlnová délka 1550 nm		
Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]	Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]
1	Černá	1,26	1	Černá	0,15
2	Oranžová	1,69	2	Oranžová	0,71
3	Bílá	1,06	3	Bílá	0,29
4	Modrá	0,80	4	Modrá	0,41
5	Červená	1,04	5	Červená	0,56
6	Šedá	1,12	6	Šedá	0,79
7	Hnědá	0,65	7	Hnědá	0,18
8	Fialová	0,77	8	Fialová	0,31
9	Růžová	0,52	9	Růžová	0,19
10	Zelená	0,43	10	Zelená	0,13
11	Žlutá	0,90	11	Žlutá	0,25
12	Světle modrá	0,51	12	Světle modrá	0,32

využívající toto vlákno pro přenos by vykazovaly například citelnou ztrátovost nebo by vůbec nefungovaly. K takové situaci došlo například v propoji z místnosti SD5.67 do místnosti SE5.116, kdy první vlákno dosahuje útlumu nepřijatelného pro přenos fotonických služeb a to 43,46 dB viz tabulka 7.5, což byl zároveň nejvyšší naměřený útlum přímou metodou. Obecně vlákno tažené do místnosti SE5.116 vykazuje vyšší útlumy a konkrétně první vlákno je dost možná na trase nalomené, což mohlo být způsobeno tažením vlákna a odpovídalo by to i vyšším naměřeným útlumům oproti ostatním propojům.

Jak již bylo zmíněno celkem bylo vyvařeno 160 svárů, to odpovídá 80 vláknům k dispozici z toho je po proměření přímou metodou 78 vláken. Při měření přímou metodou došlo ke zjištění, že tedy černé vlákno v místnosti SE5.116 má velice vysoký útlum a je dosti pravděpodobné, že vlákno je na trase někde nalomeno a taktéž černé vlákno vedoucí z místnosti SC5.52 do místnosti SD5.67 se nepodařilo přímou metodou proměřit, z čehož se dá vyvodit, že může být na trase v nějakém místě kompletně přerušeno.

Nebude-li se brát v potaz propoj do místnosti SE5.116, pak při nahlédnutí do tabulek naměřených útlumů vláken, je možno konstatovat, že útlumy se pohybovaly vždy kolem hranice 1 dB ať už pod touto hodnotou či nad ní. Vyjimku tvoří růžové vlákno v propoji SC5.52 do SC5.35, kdy pro vlnovou délku 1310 nm dosahuje útlumu 3,68 dB a pro vlnovou délku 1550 nm 2,04 dB. V uvedeném propoji dosahuje odchylku od této hranice také žluté vlákno, ale pouze při měření na vlnové délce 1550 nm. Tyto hodnoty jsou viditelné v tabulce 7.6. Tyto útlumy jsou na takto krátkou vzdálenost zanedbatelné a nemělo by docházet k žádným problémům při využití těchto vláken

Tab. 7.5: Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SE5.116

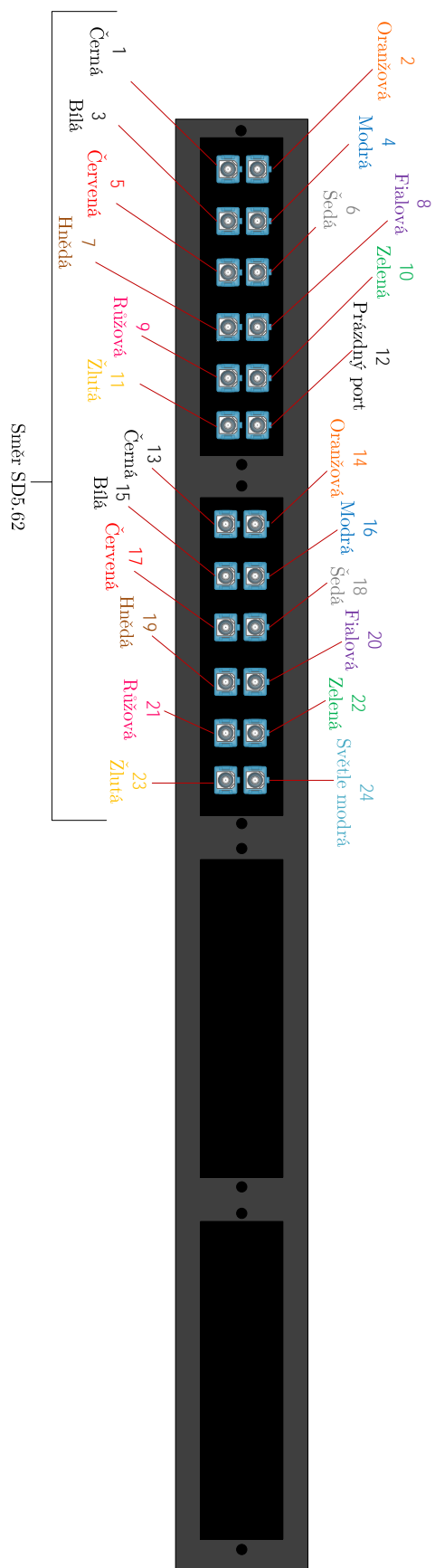
Vlnová délka 1310 nm			Vlnová délka 1550nm		
Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]	Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]
1	Černá	43,46	1	Černá	40,08
2	Oranžová	0,16	2	Oranžová	0,59
3	Bílá	3,24	3	Bílá	1,59
4	Modrá	7,42	4	Modrá	5,61
5	Červená	1,48	5	Červená	3,80
6	Šedá	1,66	6	Šedá	3,55
7	Hnědá	1,68	7	Hnědá	3,15
8	Fialová	0,85	8	Fialová	2,54
9	Růžová	1,43	9	Růžová	3,60
10	Zelená	2,02	10	Zelená	3,50
11	Žlutá	0,81	11	Žlutá	2,24
12	Světle modrá	1,08	12	Světle modrá	4,53

pro přenos určitých služeb. Poslední odchylkou je zelené vlákno v propoji SC5.52–SD5.67. Toto vlákno dosahuje oproti ostatním vláknům značného útlumu. Na vlnové délce 1310 nm 18,89 dB a pro druhou vlnovou délku byl naměřen útlum 18,33 dB. Takovýto útlum by již mohl způsobit určitou ztrátovost při přenosu po tomto vlákně, avšak pro určitý typ služeb, si vlákno může být použito.

Příklad tabulek s naměřenými hodnotami útlumů pro obě vlnové délky jsou zobrazeny v tabulkách 7.4, 7.6 či 7.5. Zbytek tabulek s naměřenými hodnotami jsou k nalezení v přílohách B. Tyto tabulky obsahují pouze pořadí, ve kterém byly vlákna měřena nikoli zapojení do portů, to je vyobrazeno v tabulkách s útlumy jednotlivých svárů v místnostech.

Tab. 7.6: Útlumy jednotlivých vláken v propoji SC5.52–SC5.35

Vlnová délka 1310 nm			Vlnová délka 1550nm		
Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]	Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]
1	Černá	0,11	1	Černá	0,58
2	Oranžová	0,42	2	Oranžová	0,01
3	Bílá	0,83	3	Bílá	0,45
4	Modrá	0,92	4	Modrá	0,11
5	Červená	0,30	5	Červená	0,33
6	Šedá	0,29	6	Šedá	0,28
7	Hnědá	0,12	7	Hnědá	0,55
8	Fialová	0,35	8	Fialová	0,57
9	Růžová	3,68	9	Růžová	2,04
10	Zelená	0,32	10	Zelená	1,37
11	Žlutá	0,31	11	Žlutá	2,12
12	Světle modrá	0,35	12	Světle modrá	1,10



Obr. 7.4: Přehled portů SD5.67(SD5.62)

8 Fotonické služby

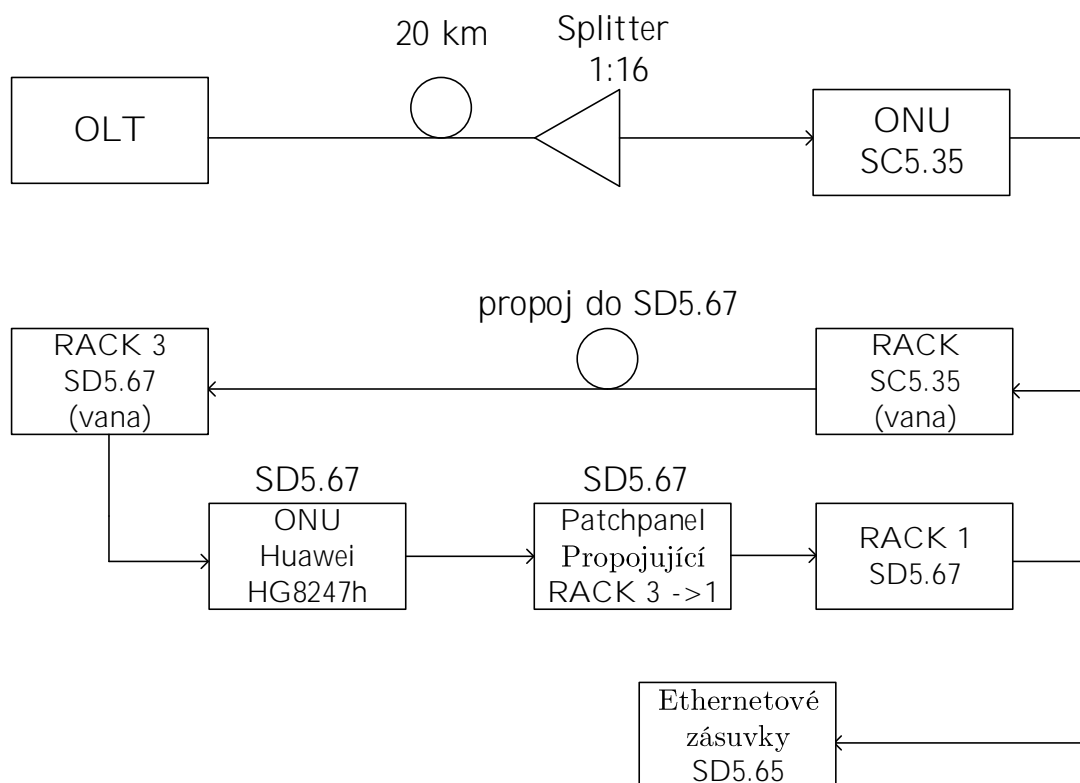
Fotonické služby lze definovat jako end-to-end připojení mezi zvolenými uzly v síti. Toto připojení je popsáno fotonickou cestou a přidělenou šířkou pásma. Fotonická cesta je fyzická cesta, která umožňuje přenos světla z bodu A do bodu B. Alokováná šířka pásma je poté částí systému spektra, která je rezervovaná pro uživatele dané fotonické služby. Je důležité, aby signály přenášené sítí byly co nejméně degradovány. Různé fotonické služby vyžadují rozdílné zacházení a jsou náchylné na jiné parametry přenosu. Některé služby vyžadují nízké zpoždění jiné například nízké kolísání zpoždění tzv. jitter. V současné době se využívá často DWDM systémů pro přenos, jelikož nabízí kapacitu až Tbit/s. Takto vysoká kapacita je dosažena souběžným přenosem dat na různých kanálech. Kanály mohou být dynamicky alokovány s citlivostí až 1 GHz či méně. Takovéto přiřazování šířky pásma umožňuje využívat optické modemy s adaptivní přenosovou rychlostí, která se mění a přizpůsobuje v závislosti na provozu a lokální kapacitě, která je momentálně k dispozici. Mezi fotonické služby se řadí například přenos přesného času, přenos stabilní frekvence či vzdálená správa vozidel [22].

Po kompletní realizaci všech propojů došlo ke zprovoznění určitých typů fotonických služeb. První funkční službou na tomto polygonu byl přístup do Internetu z Ethernetových zásuvek v místnosti SD5.69 přes optický přepínač a gigabitovou pasivní optickou síť.

Toho bylo docíleno propatchováním řídicí jednotky z místnosti SC5.35 a optické vany v této místnosti. Z této vany je dále vedeno vlákno do místnosti SD5.67. Zde je vlákno vyvedeno v optické vaně v racku číslo 3. Z tohoto racku je propatchováním s jednotkou Huawei HG8247h, která nabízí možnost čtyř LAN portů, dvou portů pro IP telefony a také připojení pro CATV. Z této jednotky došlo k využití jednoho LAN portu, ze kterého poté došlo k vyvedení UTP kabelem do propoje mezi racky 1 a 3. Odsud na závěr vyvedeno do zásuvky v místnosti SD5.65. Tato realizace je vyobrazena na obrázku 8.1, kde možno vidět kompletní propojení od OLT terminálu po zásuvku v místnosti SD5.65.

Další službou, která byla realizována byl přenos přesného času, kdy pro uskutečnění byla potřeba připojit přípravek s časovačem TIC a systémem linux. Přípravek používá konektory LC s broušením UPC, kdežto testované vlákno konektory SC s broušením APC, proto byla nutnost použití propojovacích vláken mezi nimi. V systému linux se poté stačí přihlásit a přenos přesného času je spuštěn následující sekvencí příkazů:

```
cd /fs1/fpga_cnt/  
./ttmeas_v6 -v -c 2
```



Obr. 8.1: Schéma realizace propojů a přístupu do Internetu

Poslední zprovozněnou službou byl přenos 100 Gb/s dat pomocí Coriant Groove G30, kdy opět byla potřeba připojit propojovací vlákna mezi optickou vanou v SD5.67, ve které jsou použity SC konektory a samotným Coriant Groove, který využívá LC konektory. Prvním krokem bylo samotné přihlášení přes ssh viz výpis D.1. Po úspěšném přihlášení došlo k zobrazení daných informací o portech příkazem:

```
show och-os
```

Výstupem tohoto příkazu je poté zmíněné zobrazení informací o dostupných portech část tohoto výpisu informací o portech je zobrazena ve výpisu D.2. Dalším příkazem došlo k zapnutí portu, na kterém dojde k přenosu dat. Příkaz vypadá následovně:

```
set port-1/1/1 admin-status up
```

Po nastavení statusu portu na up neboli po zapnutí portu došlo k nastavení lambdy k tomu slouží příkaz:

```
set och-os-1/1/1 frequency 193450000
```

Po nastavení lambdy zbývá už jen nastavit výkon a zapnout na tomto portu laser. Toho je docíleno níže zmíněnými příkazy.

```
set och-os-1/1/1 required-tx-optic al-power 1.0
set och-os-1/1/1 laser-enable enabled
```

Nyní je vše zapnuto a nastavené parametry lze zkontrolovat příkazem:

```
show och-os-1/1/1
```

Výpis tohoto příkazu je možné taktéž vidět v příloze D.3. Ve výpisu je možno vidět, zapnutý port, nastavenou lambdu, výkonovou úroveň laseru na daném portu a další parametry. Posledním příkazem je výpis chybovosti přenosu, chybovost je zobrazena příkazem:

```
show pm 1min och-os-1/1/1 fec
```

Zobrazený výpis chybovosti z konzole je v příloze D.4. Z tohoto výpisu je patrné, že nedochází k žádné chybovosti při přenosu.

9 Závěr

Bakalářská práce se v teoretickém rozboru věnuje problematice rozdílnosti optických vláken, různých technik svařování, zde se věnuje hlavně rozboru tavného svařování, které je nutné pochopit ke správné realizaci propojů a rozvodu optické kabeláže uvnitř budov.

V rámci této práce došlo k propojení celkově pěti místností s následným ustanovením zapojení vláken do jednotlivých portů. Jednotlivá zapojení byla zdokumentována a porty popsány, aby nedošlo k nejasnostem. Celkem je k dispozici 78 vláken na různých trasách, které jsou zmíněny a popsány v praktické části či přiloženy v přílohách. Jednotlivé propoje byly proměřeny přímou metodou, výsledky měření byly sepsány v předešlých kapitolách nebo jsou opět přiloženy v příloze. K rozvodu bylo použito vlákno typu G.657.A, které se nejčastěji využívá pro rozvody uvnitř budov, jelikož je vlákno méně náchylné na ohyby. Tato vlastnost vlákna značně ulehčila sváření vláken ve stísněných prostorech, kdy nastávala nutnost ohybu vlákna. Naměřené hodnoty útlumu přímou metodou pravděpodobně souvisí s ohyby vzniklými při tažení kabelu. V některých případech došlo po měření přímou metodou k ustanovení, že například černé vlákno v místnosti SE5.116 je na trase nejspíše nalomené, jelikož vykazuje velký útlum. Na druhou stranu černé v místnosti SC5.52 zapojené do prvního portu je na trase nejspíše úplně přerušené, jelikož se nepodařilo proměřit vůbec i přes fakt, že bylo vyvařeno. Pokud by byla potřeba určit konkrétní místo přerušování, bylo by vhodné proměřit vlákno pomocí OTDR, dalo by se poté lokalizovat přesné místo přerušování.

Na závěr byly na vybraných vláknech zprovozněny vybrané služby například přenos přesného času, či přístup do Internetu z daných zásuvek.

Literatura

- [1] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Druhé, rozšířené vydání. Brno: Prof. Ing. Miloslav Filka, Csc. a kol., 2017. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] OECD, Broadband Portal,. *OECD* [online]. Paříž, Francie: OECD, 2017, prosinec 2017 [cit. 2018-10-10]. Dostupné z URL:
<<http://www.oecd.org/internet/broadband/broadband-statistics/>>.
- [3] CHMIEL Pavel. Optoelektronika - optický komunikační řetězec. *Outech-havirov* [online]. Havířov: Ing. Pavel Chmiel, Ph.D., 2009 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<http://www.outech-havirov.cz/chmiel/files/ea/optoelektronika.pdf>>.
- [4] TATSUYA OYAMA, TOSHIAKI OZAWA a NOBORU OKADA. Development of optical indoor cables using 0.9-mm tight-buffered optical fiber. *2009 14th OptoElectronics and Communications Conference* [online]. IEEE, 2009, 2009, , 1-2 [cit. 2018-10-21]. DOI: 10.1109/OECC.2009.5214276. ISBN 978-1-4244-4102-0. Dostupné z URL:
<<http://ieeexplore.ieee.org/document/5214276/>>.
- [5] CHARUK, Bill, Lee KELLETT, Giovanni TOMASI a Sandra YOUNG. Loose-tube vs. tight-buffered cable: the big picture. *OSP Engineering & Construction* [online]. 1999 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<https://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-7/issue-11-/contents/design/loose-tube-vs-tight-buffered-cable-the-big-picture.html>>.
- [6] BUBENÍK, Lukáš, Jiří KLAJBL a Petr MAZUCH. *Optoelektrotechnika* [online]. Brno: Code Creator, 2015 [cit. 2018-10-21]. ISBN 978-80-88058-20-5. Dostupné z URL:
<<https://publi.cz/books/185/Cover.html>>.
- [7] *ITU-T Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable* [online]. Švýcarsko: ITU-T, 2016 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<http://handle.itu.int/11.1002/1000/13076>>.
- [8] *ITU-T Recommendation G.653: Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable* [online]. Švýcarsko: ITU-T, 2010 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<http://handle.itu.int/11.1002/1000/10869>>.

- [9] *ITU-T Recommendation G.654: Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable* [online]. Švýcarsko: ITU-T, 2016 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<http://handle.itu.int/11.1002/1000/13077>>.
- [10] *ITU-T Recommendation G.655: Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable* [online]. Švýcarsko: ITU-T, 2009 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<http://handle.itu.int/11.1002/1000/10390>>.
- [11] *ITU-T Recommendation G.656: Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport* [online]. Švýcarsko: ITU-T, 2010 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<http://handle.itu.int/11.1002/1000/10871>>.
- [12] *ITU-T Recommendation G.657: Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable* [online]. Švýcarsko: ITU-T, 2016 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z URL:
<<http://handle.itu.int/11.1002/1000/13078>>.
- [13] YABLON, Andrew D. *Optical fiber fusion splicing*. New York: Springer, 2005. ISBN 3-540-23104-8.
- [14] Fiber Optic Connectors. *Optical Fiber Articles about LightTransmission for Video, Audio, Data using Analog Digital L-Band HDTV 1080 and more - Fiber-Optics.info* [online]. [cit. 2018-11-28]. Dostupné z URL:
<http://www.fiber-optics.info/articles/fiber_optic_connectors>.
- [15] HEJTMÁNEK, O. *Optické kabely v moderních datových centrech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 59 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [16] JAROŠ, P. *Optické spoje a jejich vliv na přenos*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vladimír Tejkal.
- [17] SIMMONS, Jane M. *Optical network design and planning*. New York: Springer, [2014]. ISBN 978-3319052267.
- [18] Georg Rademacher, Ruben S. Luis, Benjamin J. Puttnam, Tobias A. Eriksson, Erik Agrell, Ryo Maruyama, Kazuhiko Aikawa, Hideaki Furukawa, Yoshinari Awaji, and Naoya Wada, *159 Tbit/s C+L Band Transmission over 1045 km 3-Mode Graded-Index Few-Mode Fiber*, in Proc. 41. Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC), Březen 2018, list Th4C.4.

- [19] JAROŠ, P. *Optické spoje a jejich vliv na přenos*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vladimír Tejkal.
- [20] BECHTOLD, Lisa. Installing fiber-optic cable in premises applications. *Cabling Installation and Maintenance* [online]. 1995 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z URL: <<https://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-3/issue-2/-contents/installation/installing-fiber-optic-cable-in-premises-applications.html>>.
- [21] GEORGE, John, Anurag JAIN a Laura WERNER. New Ways to Install Fiber in Old Buildings and Homes. *Lightwave* [online]. 2016 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z URL: <<https://www.lightwaveonline.com/articles/2016/03/new-ways-to--install-fiber-in-old-buildings-and-homes.html>>.
- [22] VOJTECH, Josef, Vladimír SMOTLACHA, Stanislav SIMA a Pavel SKODA. Photonic services. In: *2012 14th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)* [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 1-4 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1109/ICTON.2012.6253805. ISBN 978-1-4673-2229-4. Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6253805/>>.

Seznam symbolů, veličin a zkratek

APC	Úhlově zabroušený bodový kontakt – Angled Physical Contact
CATV	Kabelová televize – Community Antenna Television
CPE	Zákaznickovo zařízení – Customer Premise Equipment
CS-SMF	Vlákno s mezní vlnovou délkou a potlačenou chromatickou disperzí – Cut-off Shifted Single-Mode Fiber
CWDM	Hrubý vlnový multiplex – Coarse Wavelength Division Multiplexing
DSF	Vlákno s potlačenou chromatickou disperzí – Dispersion Shifted Fiber
DSL	digitální účastnická linka – Digital Subscriber Line
DWDM	Hustý vlnový multiplex – Dense Wavelength Division Multiplexing
FC	Rovinný kontakt – Flat Contact
FC	FC konektor – Fiber Connector
FTTB	Vlákno zavedeno do budovy – Fiber To The Building
FTTC	Vlákno zavedeno do rozvaděče – Fiber To The Curb
FTTCab	Vlákno zavedeno do prostoru s účastníky – Fiber To The Cabinet
FTTD	Vlákno zavedeno do stolu – Fiber To The Desk
FTTH	Vlákno zavedeno do domu – Fiber To The Home
FTTO	Vlákno zavedeno do daného přístroje – Fiber To The Office
FTTx	Vlákno do ... – Fiber to the ...
ILU	Vnitřní funkční jednotka – In-Living Unit
ITU	mezinárodní telekomunikační unie – International Telecommunications Union
LC	LC konektor – Lucent Connector
LON	Lokální optická síť – Local Optical Network
MDU	Vnitřní jednotka pro více vláken – multiple dwelling unit
MFD	Průměr optického vlákna – Mode Field Diameter
MM	mnohovidové vlákno – multimode
NA	Numerická apertura
NPC	Rovinně zabroušený bodový kontakt – Non Physical Contact
NZ-DSF	Vlákno s posunutou nenulovou disperzí – Non Zero-Dispersion Shifted Fiber
OLAN	Optická lokální síť – Optical Local Area Network
ONT	Optický síťový terminál – Optical Network Terminal
PC	Bodový kontakt – Physical Contact
PMD	Polarizační disperze – Polarization Mode Dispersion
SC	SC konektor – Subscriber Connector
SM	jednovidové vlákno – singlemode

SPC	super bodový kontakt – Super Physical Contact
ST	ST konektor – Straight Tip
UPC	Ultra bodový kontakt – Ultra Physical Contact

Seznam příloh

A	Přehled naměřených hodnot útlumů jednotlivých svárů	55
B	Přehled naměřených hodnot útlumů jednotlivých propojů	59
C	Schémata zapojení jednotlivých portů	61
D	Výpisy konzole Coriant Groove G30	68

A Přehled naměřených hodnot útlumů jednotlivých svárů

Přehled naměřených útlumů jednotlivých svárů v daných místnostech.

Tab. A.1: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SC5.52 směr SD5.67

Místnost SC5.52		
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
1(S)	Černá	0,01
2(V)	Oranžová	0,00
3(S)	Bílá	0,01
4(V)	Modrá	0,01
5(S)	Červená	X
6(V)	Šedá	0,01
7(S)	Hnědá	0,01
8(V)	Fialová	0,06
9(S)	Růžová	0,00
10(V)	Zelená	0,01
11(S)	Žlutá	0,01
12(V)	Světle modrá	0,01
13(S)	Průhledná proužkovaná	0,00
14(V)	Oranžová proužkovaná	0,00
15(S)	Bílá proužkovaná	0,01
16(V)	Modrá proužkovaná	0,01
17(S)	Červená proužkovaná	X
18(V)	Šedá proužkovaná	0,01
19(S)	Hnědá proužkovaná	0,01
20(V)	Fialová proužkovaná	0,01
21(S)	Růžová proužkovaná	X
22(V)	Zelená proužkovaná	0,00
23(S)	Žlutá proužkovaná	0,00
24(V)	Světle modrá proužkovaná	0,01

Tab. A.2: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SC5.52 směr SC5.35

Místnost SC5.52		
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
25(S)	Černá	0,01
26(V)	Oranžová	0,01
27(S)	Bílá	0,01
28(V)	Modrá	0,01
29(S)	Červená	0,00
30(V)	Šedá	0,01
31(S)	Hnědá	0,00
32(V)	Fialová	0,00
33(S)	Růžová	0,01
34(V)	Zelená	0,01
35(S)	Žlutá	0,00
36(V)	Světle modrá	0,01

Tab. A.3: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.62 směr SD5.67

Místnost SD5.62					
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]	Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
3(S)	Černá	0,00	15(S)	Černá	0,00
4(V)	Oranžová	0,04	16(V)	Oranžová	0,01
5(S)	Bílá	0,01	17(S)	Bílá	0,00
6(V)	Modrá	0,00	18(V)	Modrá	0,01
7(S)	Červená	0,00	19(S)	Červená	0,03
8(V)	Šedá	0,00	20(V)	Šedá	0,01
9(S)	Hnědá	0,00	21(S)	Hnědá	0,01
10(V)	Fialová	0,00	22(V)	Fialová	0,01
11(S)	Růžová	0,03	23(S)	Růžová	0,01
12(V)	Zelená	0,03	24(V)	Zelená	0,00
13(S)	Žlutá	0,00	25(S)	Žlutá	0,00
14(V)	Světle modrá	X	26(V)	Světle modrá	0,03

Tab. A.4: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SC5.52

Místnost SD5.67-rack3		
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
1(S)	Černá	0,00
2(V)	Oranžová	0,06
3(S)	Bílá	0,00
4(V)	Modrá	0,01
5(S)	Červená	X
6(V)	Šedá	0,00
7(S)	Hnědá	0,00
8(V)	Fialová	0,00
9(S)	Růžová	0,00
10(V)	Zelená	0,00
11(S)	Žlutá	0,01
12(V)	Světle modrá	0,01
13(S)	Průhledná proužkovaná	0,00
14(V)	Oranžová proužkovaná	0,00
15(S)	Bílá proužkovaná	0,01
16(V)	Modrá proužkovaná	0,01
17(S)	Červená proužkovaná	X
18(V)	Šedá proužkovaná	0,01
19(S)	Hnědá proužkovaná	0,01
20(V)	Fialová proužkovaná	0,01
21(S)	Růžová proužkovaná	X
22(V)	Zelená proužkovaná	0,01
23(S)	Žlutá proužkovaná	0,00
24(V)	Světle modrá proužkovaná	0,01

Tab. A.5: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SD5.67 směr SC5.35

Místnost SD5.67-rack3		
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
25(S)	Černá	0,01
26(V)	Oranžová	0,00
27(S)	Bílá	0,01
28(V)	Modrá	0,00
29(S)	Červená	0,00
30(V)	Šedá	0,01
31(S)	Hnědá	0,01
32(V)	Fialová	0,01
33(S)	Růžová	0,01
34(V)	Zelená	0,00
35(S)	Žlutá	0,01
36(V)	Světle modrá	0,01

Tab. A.6: Útlumy svárů ve vaně v místnosti SC5.35

Místnost SC5.35					
Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]	Porty	Barva vlákna	Útlum sváru [dB]
1(S)	Černá	0,00	25(S)	Černá	0,01
2(V)	Oranžová	0,01	26(V)	Oranžová	0,00
3(S)	Bílá	0,20	27(S)	Bílá	0,00
4(V)	Modrá	0,01	28(V)	Modrá	0,01
5(S)	Červená	0,01	29(S)	Červená	0,01
6(V)	Šedá	0,01	30(V)	Šedá	0,00
7(S)	Hnědá	0,01	31(S)	Hnědá	0,01
8(V)	Fialová	0,00	32(V)	Fialová	0,01
9(S)	Růžová	0,01	33(S)	Růžová	0,00
10(V)	Zelená	0,01	34(V)	Zelená	0,01
11(S)	Žlutá	0,01	35(S)	Žlutá	0,00
12(V)	Světle modrá	0,00	36(V)	Světle modrá	0,00

B Přehled naměřených hodnot útlumů jednotlivých propojů

Tab. B.1: Útlumy jednotlivých vláken v propoji SC5.52–SD5.67

Vlnová délka 1310 nm			Vlnová délka 1550nm		
Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]	Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]
1	Černá	X	1	Černá	X
2	Oranžová	1,10	2	Oranžová	1,59
3	Bílá	0,45	3	Bílá	0,86
4	Modrá	0,50	4	Modrá	0,85
5	Červená	X	5	Červená	X
6	Šedá	0,22	6	Šedá	0,63
7	Hnědá	0,56	7	Hnědá	1,19
8	Fialová	0,89	8	Fialová	0,93
9	Růžová	0,76	9	Růžová	0,93
10	Zelená	18,89	10	Zelená	18,33
11	Žlutá	0,35	11	Žlutá	0,20
12	Světle modrá	0,31	12	Světle modrá	0,41
13	Průhledná proužk.	1,07	13	Průhledná proužk.	0,90
14	Oranžová proužk.	0,18	14	Oranžová proužk.	0,38
15	Bílá proužk.	0,44	15	Bílá prouž.	0,54
16	Modrá proužk.	0,36	16	Modrá proužk.	0,59
17	Červená proužk.	X	17	Červená proužk.	X
18	Šedá proužk.	0,76	18	Šedá proužk.	1,17
19	Hnědá proužk.	0,58	19	Hnědá proužk.	0,66
20	Fialová proužk.	0,26	20	Fialová proužk.	0,47
21	Růžová proužk.	X	21	Růžová proužk.	X
22	Zelená proužk.	0,33	22	Zelená proužk.	0,76
23	Žlutá proužk.	0,80	23	Žlutá proužk.	0,78
24	Světle modrá proužk.	0,58	24	Světle modrá proužk.	1,13

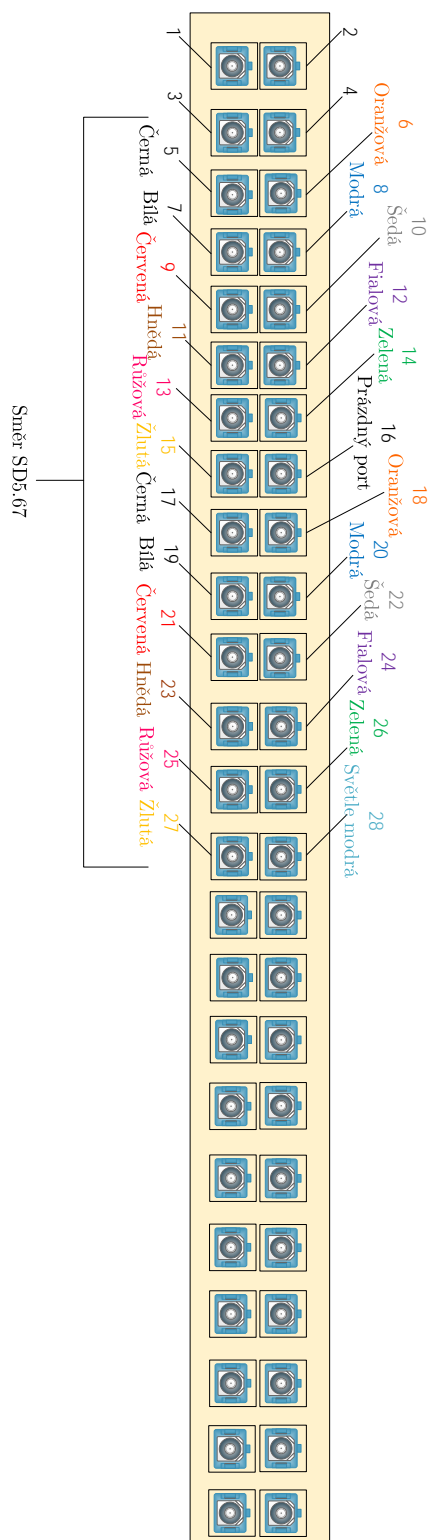
Tab. B.2: Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SD5.62

Vlnová délka 1310 nm			Vlnová délka 1550 nm		
Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]	Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]
1	Černá	0,84	1	Černá	0,47
2	Oranžová	0,53	2	Oranžová	0,26
3	Bílá	0,54	3	Bílá	0,30
4	Modrá	1,46	4	Modrá	1,06
5	Červená	0,98	5	Červená	0,77
6	Šedá	0,47	6	Šedá	0,47
7	Hnědá	1,46	7	Hnědá	0,63
8	Fialová	0,36	8	Fialová	0,45
9	Růžová	0,55	9	Růžová	0,28
10	Zelená	0,38	10	Zelená	0,16
11	Žlutá	0,36	11	Žlutá	0,46
12	Světle modrá	X	12	Světle modrá	X

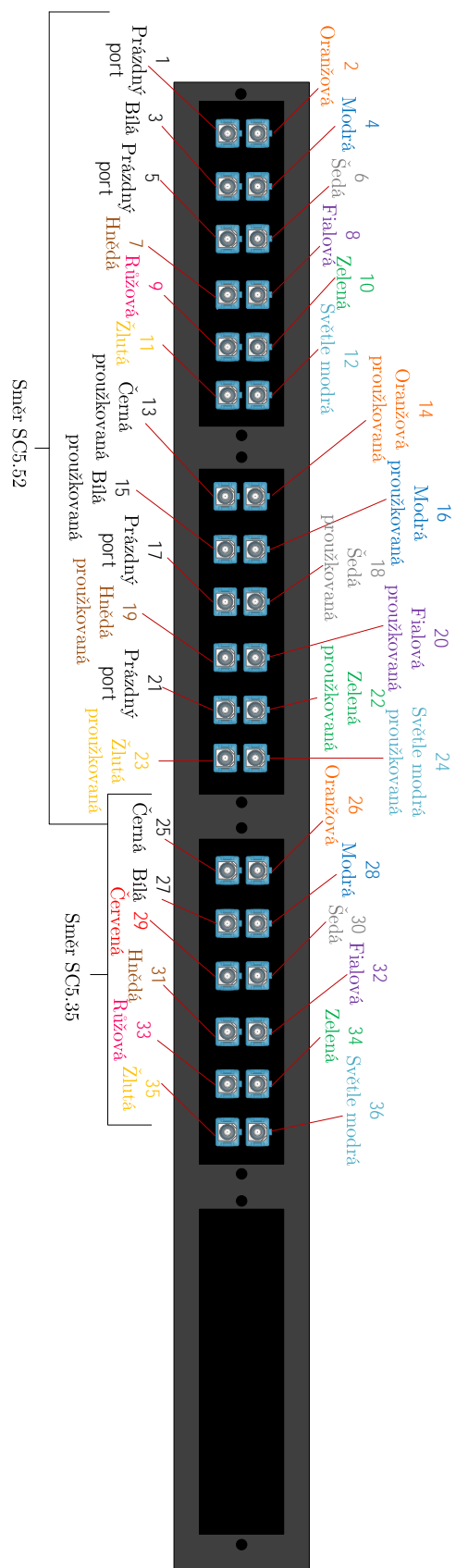
Tab. B.3: Útlumy jednotlivých vláken v propoji SD5.67–SD5.62

Vlnová délka 1310 nm			Vlnová délka 1550 nm		
Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]	Pořadí	Barva vlákna	Útlum vlákna [dB]
13	Černá	0,18	13	Černá	0,17
14	Oranžová	1,15	14	Oranžová	0,63
15	Bílá	1,05	15	Bílá	0,80
16	Modrá	1,11	16	Modrá	0,86
17	Červená	0,73	17	Červená	0,59
18	Šedá	0,69	18	Šedá	0,73
19	Hnědá	1,10	19	Hnědá	0,65
20	Fialová	0,27	20	Fialová	0,29
21	Růžová	0,65	21	Růžová	0,53
22	Zelená	1,60	22	Zelená	1,10
23	Žlutá	0,32	23	Žlutá	0,37
24	Světle modrá	0,58	24	Světle modrá	0,29

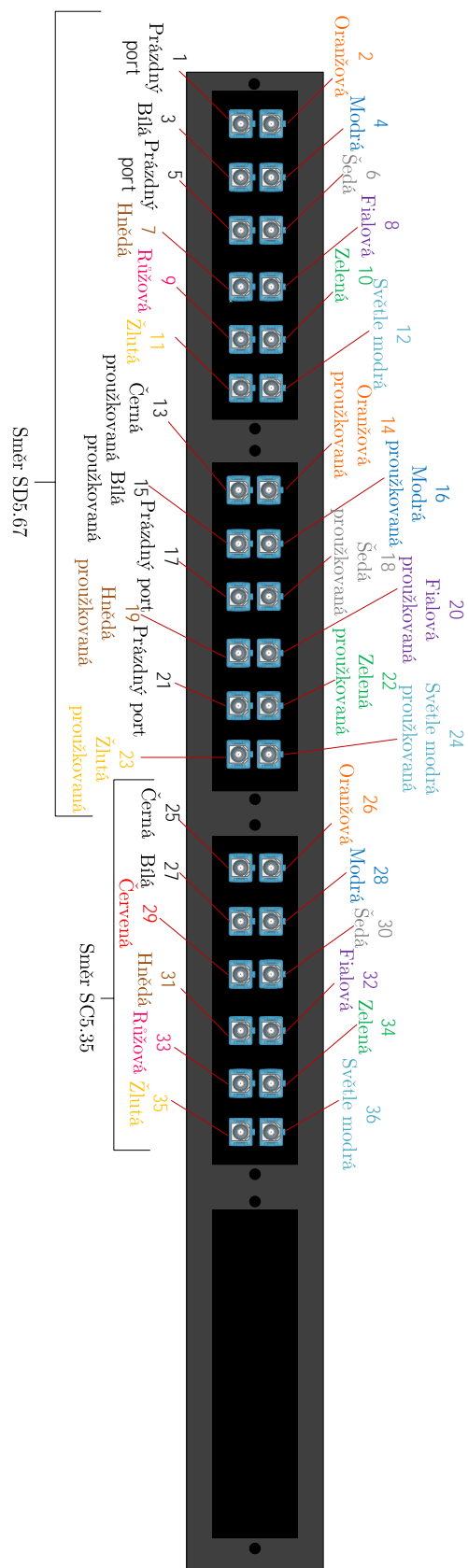
C Schémata zapojení jednotlivých portů



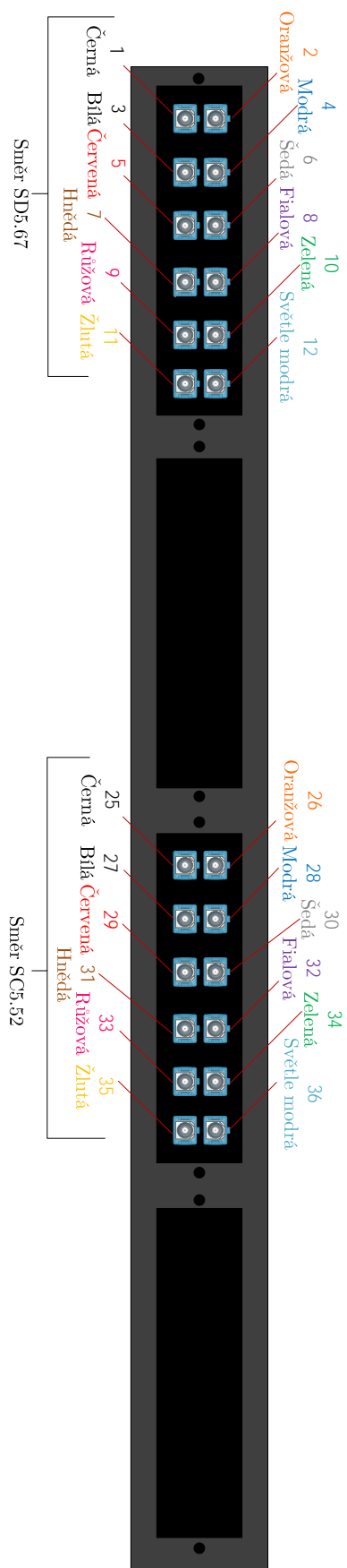
Obr. C.1: Přehled portů SD5.62



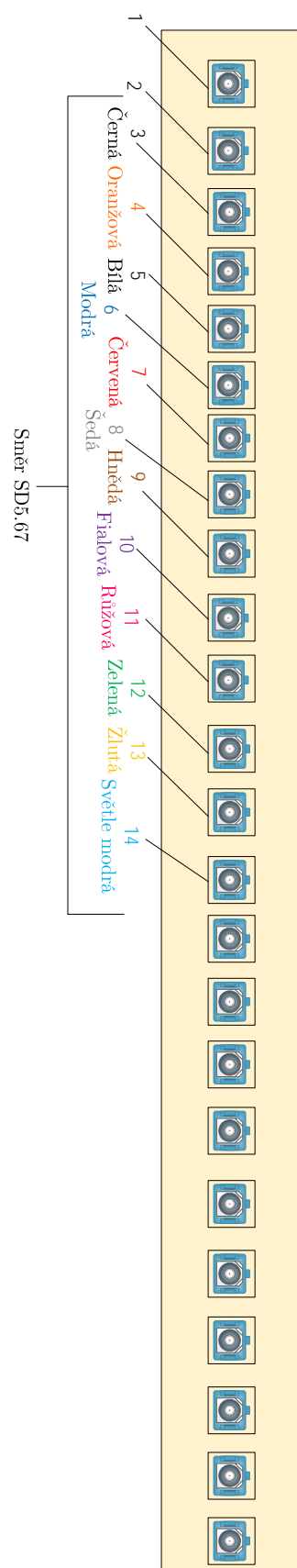
Obr. C.2: Přehled portů SD5.67 rack 3



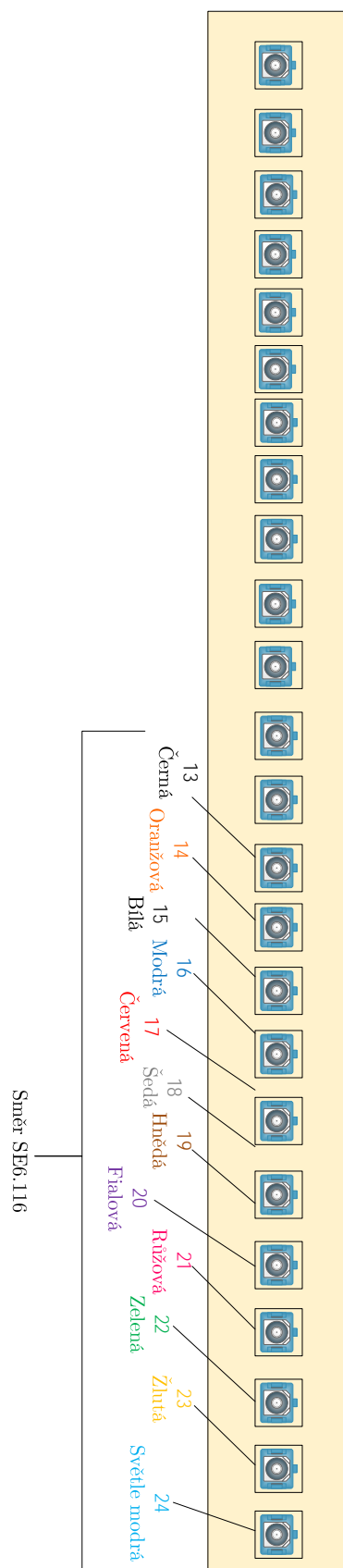
Obr. C.3: Přehled portů SC5.52



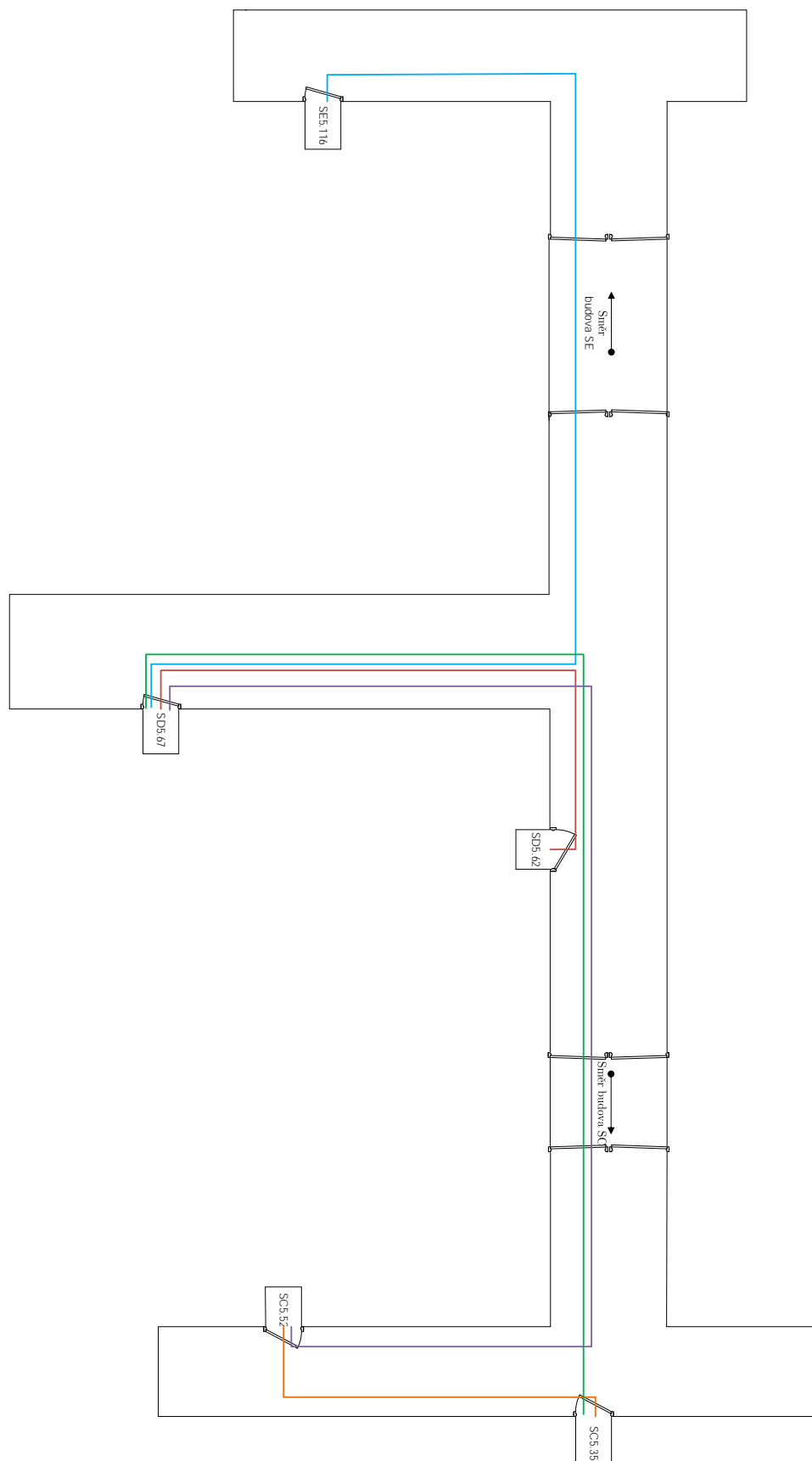
Obr. C.4: Přehled portů SC5.35



Obr. C.5: Přehled portů SE5.116



Obr. C.6: Přehled portů SD5.67



Obr. C.7: Jednoduchý půdorys s vyobrazenými propoji

D Výpisy konzole Coriant Groove G30

Výpis D.1: Výpis po úspěšném přihlášení do Coriant Groove G30

```
1 Last login: Tue May 7 22:07:25 2019 from 169.254.187.243
2 Coriant Groove G30
3
4 Connecting user administrator from 169.254.187.243:56835
5 -----
6
7 / ____| ____|/ ____| | | ____|__ __|
8
9 | | | |__ | (___ | | | |__ | |
10
11 | | | __| __| | . / | __| | |
12
13 | |____| |____) | | | |____ | |
14
15 _____/ | | |____| | |
```

Výpis D.2: Výpis informací o portech

```
1 och-os          rx-optical-power (dBm) tx-optical-power (dBm)
2
3 -----
4
5 och-os-1/1/1 -99.0                1.0
6
7 och-os-1/1/2 -99.0                -99.0
8
9
10 och-os          rx-optical-power-selected-channel (dBm) modulation-format line-encoding
11
12 -----
13
14
15
16 och-os-1/1/1 -99.0                DP-QPSK                non-differential
17
18
19 och-os-1/1/2 -99.0                DP-16QAM               non-differential
20
21
22
23
24
25 och-os          frequency (MHz) laser-enable fec-type loopback-enable loopback-type
26
27 -----
28
29
30
31 och-os-1/1/1 193450000 enabled SDFEC25 disabled none
32
33
34 och-os-1/1/2 195600000 enabled SDFEC25 disabled none
35
36
37
38
39
40 och-os          admin-status oper-status alias-name DGD (ps) CD (ps/nm) OSNR (dB)
41
42 -----
43
44
45
46 och-os-1/1/1 up down 0 0 0.0
47
48
49 och-os-1/1/2 up down 0 0 0.0
```

Výpis D.3: Výpis informací o nastavených parametrech

```

1
2 rx-optical-power -99.0 dBm
3 tx-optical-power 1.0 dBm
4 rx-optical-power-selected-channel -99.0 dBm
5 modulation-format DP-QPSK
6 line-encoding non-differential
7 frequency 193450000 MHz
8 laser-enable enabled
9 fec-type SDFEC25
10 loopback-enable disabled
11 loopback-type none
12 admin-status up
13 oper-status down
14 alias-name ''
15 DGD 0 ps
16 CD 0 ps/nm
17 OSNR 0.0 dB
18 Q-factor 0.0 dB
19 required-tx-optical-power 1.0 dBm
20 avail-status 'failed'
21 actual-tx-optical-power 1.0 dBm
22 tx-filter-roll-off 0.2
23 rx-frequency 0 MHz
24 actual-frequency 193449950 MHz
25 actual-rx-frequency 193449950 MHz
26 rx-attenuation 0.0 dB
27 service-label ''
28 preemphasis enabled
29 preemphasis-value 1.0

```

Výpis D.4: Výpis informací o chybovosti přenosu

```

1 PM results for 1min och-os-1/1/2 fec
2
3
4
5
6
7 pmp-type pm-parameter pm-unit bin 0
8
9
10 -----
11
12
13 fec BE-FEC Bits 0
14
15
16 fec UBE-FEC Blocks 0
17
18
19 fec BER-FEC Bit-ratio 1.000000e+00
20
21
22 fec BER-FEC-max Bit-ratio 1.000000e+00
23
24
25 fec BER-FEC-min Bit-ratio 1.000000e+00
26
27
28 fec BER-POST-FEC Bit-ratio 0.000000e+00
29
30
31 fec BER-POST-FEC-max Bit-ratio 0.000000e+00
32
33
34 fec BER-POST-FEC-min Bit-ratio 0.000000e+00

```